UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Diseño de un puente grúa automatizado

Autor/es

MANUEL MARÍN UYARRA

Director/es

LUIS CELORRIO BARRAGUÉ

Facultad

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Titulación

Grado en Ingeniería Mecánica

Departamento

INGENIERÍA MECÁNICA

Curso académico

2017-18

Diseño de un puente grúa automatizado, de MANUEL MARÍN UYARRA (publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

© El autor, 2018
© Universidad de La Rioja, 2018
publicaciones.unirioja.es
E-mail: publicaciones@unirioja.es

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

TRABAJO DE FIN DE GRADO

TITULACIÓN: Grado en Ingeniería Mecánica

CURSO: 2017/2018 **CONVOCATORIA: JULIO**

TÍTULO:
DISEÑO DE UN PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO

AUTOR: Manuel Marín Uyarra

DIRECTOR/ES: Luis Celorrio Barragué

DEPARTAMENTO: Ingeniería Mecánica

RESUMEN

En el presente Trabajo Fin de Grado se estudia y diseña la mejor solución de construcción de un puente grúa monorraíl ubicado en el interior de la fábrica de la empresa MAYUR S.A. La escasez de espacio en la planta justifica la realización de esta obra.

El documento Anexos es el cuerpo o corazón del proyecto. Comprende los cálculos y el diseño escalonado por etapas de todas las piezas y componentes, partiendo de los datos de producción y las dimensiones y peso del elemento a manejar hasta obtener la estructura completa con todos sus elementos definidos. Para ello se desarrollan diversos métodos de cálculo (MEF, cálculo estructural, delineación, etc.) que proporcionan unos resultados acordes a los requisitos de diseño y optimizan cada proceso.

La Memoria es el espacio de recopilación de resultados finales. Además, aporta información adicional para un entendimiento más preciso del proyecto.

Siguiendo la normativa vigente en este tipo de proyectos, también se presentan los Planos del diseño final, el Pliego de condiciones referente al modo y normas de funcionamiento, así como el mantenimiento de la máquina, el Estudio Básico de Seguridad y Salud, y un estudio económico realizado en los documentos de Mediciones y Presupuesto. Estos dos últimos documentos se estructuran según las operaciones de montaje e instalación que se deben llevar a cabo.

ABSTRACT

In the present Final Degree Essay the best building solution for a monorail bridge crane, located in the indoors of the Factory in MAYUR S.A. company is studied and designed .The lack of space on the floor justifies the accomplishment of this machine.

The document Annexes is the body and the core of the Project. It includes the calculation and design step by step related to every single piece and component, beginning with the production data and the dimensions and weight of the element to grab in order to achieve the complete structure with all its parts. So as to do it, several methods of calculation such as FEM, structural calculation and delineation are developed to provide proper results according to design and to optimize every process.

The Report is the place to collect the final outcome. Furthermore, it adds additional information for a more accurate understanding of the Project.

Following the current regulation in this kind of projects, documents like the final design Plans, the Specifications regarding the way and rules of functioning, as well as the machine maintenance, the Basic Study of Health and Security and an economy study carried out in the Measurement and Budget papers are also presented. The last couple of documents are structured according to the assembly and instalation operations that must be taken into account.

Firma los presentes documentos:

Manuel Marín Uyarra

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Logroño, 6 de julio de 2018

ÍNDICE GENERAL

Puente grúa automatizado

803-G

Autor: Manuel Marín Uyarra

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

MEMORIA

ANEXOS

PLANOS

PLIEGO DE CONDICIONES

ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

MEDICIONES

PRESUPUESTO

MEMORIA

Puente grúa automatizado

803-G

Autor: Manuel Marín Uyarra

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

1 Objeto

El objetivo principal del proyecto es la construcción final de un puente grúa automatizado dentro de la planta de producción de la empresa MAYUR S.A., que satisfaga las necesidades de almacenamiento de bobinas de aluminio de 1000 kg y con las que se trabaje de una forma autónoma y eficiente.

2 Alcance

El presente proyecto se dará por concluido una vez se haya obtenido un modelo válido siguiendo las condiciones expresadas en los requisitos de diseño. Además, se deberá realizar a posteriori una optimización del diseño con el fin de proveer a la aplicación de mayores prestaciones relacionadas con su autonomía y su versatilidad. El diseño de los distintos componentes se debe modificar hasta hallar la solución más rentable, sencilla y robusta posible. Esta es la base del diseño llevado a cabo.

Este estudio es proyecto académico, por lo que carece de fuerza legal, pero que abarca el diseño de:

- Cálculo estructural del puente grúa: viga principal, vigas testeras, vigas carrileras, pilares y cimentación.
- Uniones entre perfiles de acero.
- Diseño minucioso del elemento de agarre.
- Automatización del puente grúa.
- Selección de motorreductores.
- Selección de elementos mecánicos: cables, ganchos, ruedas, poleas…

Queda fuera del ámbito de este proyecto:

- Todo lo relativo a electricidad: cuadros eléctricos, variadores, esquemas eléctricos…
- Rodamientos, acoplamientos, sistema de guiado de cables eléctricos.
- Fabricación de los elementos de la garra.

En definitiva, se diseñan los elementos principales del puente grúa, discriminando aquellos de menor importancia. En el diseño, se realizan cálculos con software específico, comprobando los resultados con la formulación matemática apropiada.

Los plazos de redacción del proyecto responderán a fecha límite de depósito establecida por La Universidad de La Rioja: 6 de julio de 2018.

3 Antecedentes

La empresa MAYUR S.A. se dedica al diseño, fabricación y comercialización de cápsulas de aluminio para botella, principalmente de vino. Se trata de un mercado estable donde la empresa intenta diferenciarse de sus competidores aplicando valor añadido a sus productos y siendo garantía de la máxima calidad. Siguiendo esta tónica desde su fundación, 10 años atrás, la compañía se ha consagrado como un referente dentro del sector, representando el 30% de las ventas de cápsulas a nivel nacional y un 16 % en el ámbito internacional.

Debido a la constante ambición por superarse de empleados y empresa en general, la buena reputación de la que goza, su compromiso medioambiental, así como el exquisito servicio prestado al cliente es previsible que se produzca un apreciable aumento de ventas en un futuro próximo, lo que equivale a un necesario aumento de la producción. Las limitaciones espaciales de la planta condujeron al Departamento de Producción a realizar un estudio sobre cómo ampliar este espacio y por ende la producción, lo que desembocó en la redacción de este proyecto.

Al proyecto iniciado por el Departamento de Producción se suman el de Ingeniería Técnica e Ingeniería Eléctrica para llegar al diseño del puente grúa que cumpla con los requisitos fijados. En consecuencia, el cliente es la propia empresa MAYUR S.A.

3.1 Localización

La fábrica se encuentra situada la calle Av. Del Ebro Nº7 del polígono del Sequero, perteneciente a los municipios de Agoncillo y Arrubal, en La Rioja. Las dos principales vías de comunicación son la N-232 y la AP-68, que conectan la fábrica con Zaragoza y Logroño. El conjunto de las instalaciones tiene un área de 10506 km^2.

Ilustración 1. Localización de la planta

DATOS DESCRIPTIVOS DEL INMUEBLE

Referencia catastral

0181206WM6908S0001KZ

Localización

PL SEQUERO 43
26160 AGONCILLO (LA RIOJA)

Clase

Urbano

Uso principal

Industrial

Ilustración 2. Datos del inmueble

La instalación del puente grúa se llevará a cabo dentro de una de las secciones de trabajo que dividen la fábrica, como se verá más adelante.

3.2 Proceso productivo

La empresa MAYUR S.A. basa todo su esfuerzo en la producción en serie de cápsulas para botella de vidrio.

Ilustración 3. Producto terminado

El proceso productivo que da lugar al producto final se resume de la siguiente manera:

Se reciben las bobinas de una tonelada en la fábrica. Una parte de ellas son cortadas directamente en bandas de distintas dimensiones, todo ello dependiendo de las exigencias del cliente y el tipo de botella que se vaya a capsular. La otra porción de bobinas necesita un proceso previo al de corte, para dar lugar a las cápsulas de complejo (formadas por dos capas de aluminio separadas por una fina capa de polietileno). Esta triple capa se forma en una máquina especial que desenvuelve las tres bobinas, las une y prensa a la temperatura adecuada para dar lugar a las “bobinas de complejo”.

De este modo, se tienen ahora dos tipologías de bobina. Las bobinas de complejo se procesan en una sección de máquinas A. Las de aluminio se dividen en dos. Una parte son tratadas por máquinas que embuten el aluminio (sección B) y el resto son destinadas a una serie de máquinas que conforman el tapón-rosca, que no es más que una cápsula con un liner en su cabeza (estas máquinas se encuentran en la sección C).

A continuación, se llevan estas cápsulas a las máquinas decoradoras, que se encargan de serigrafiar los motivos que se estimen oportunos. Tras este paso, se embala el producto y se envía al almacén de expediciones.

El problema de la empresa surge a raíz de la falta de espacio en la planta de la fábrica, debido a la expansión que está experimentando y la incorporación de nuevas máquinas en cada una de las secciones de producción. Es evidente que el almacenamiento de bobinas ocupa un área significativa, por lo que el objetivo es reducir este espacio al mínimo posible. En la solución a este problema se basa este proyecto.

Hasta ahora, el movimiento de bobinas se realiza por medio de carretillas elevadoras, pero éstas necesitan un gran espacio entre bobinas para poder maniobrar. El nuevo sistema a implantar para el traslado de bobinas será un puente grúa diseñado específicamente para almacenamiento y colocación en la máquina de prensado y en la de corte de bobinas. Este sistema justifica una notable reducción de espacio, que es donde radica la problemática de la empresa. Además, se van a obtener beneficios secundarios:

- Reducción del personal encargado del traslado de bobinas.
- Reducción de riesgos laborales.
- Ahorro en materias primas y energía.
- Disminución de los niveles de CO_x y NO_x en la planta
- Disminución de ruidos.
- Reducción de costes
- Inversión en investigación y desarrollo (proyecto subvencionable)

El puente grúa se diseña por tanto atendiendo a las características específicas de su aplicación y tendrá la posibilidad de funcionar automática, semiautomática o manualmente.

3.3 Distribución en planta inicial

La empresa MAYUR S.A. cuenta con una nave principal o planta de producción con un total de 4464 metros cuadrados, donde se desarrolla todo el proceso productivo, desde la recepción y almacenado de la materia prima, hasta su transformación final.

Adosados a esta nave se encuentran departamentos de importancia, ya sean el laboratorio, el taller mecánico, las oficinas o el propio almacén de producto terminado. Cabe señalar el espacio dedicado a los servicios auxiliares, donde se encuentran calderas y compresores. La estación de transformación de energía eléctrica, así como el depósito de agua anti-incendio se encuentran separados del complejo de naves. De todas formas, no es necesario entrar en detalle a la hora de definir las estancias mencionadas, ya que los intereses de este proyecto solo requieren el conocimiento preciso de la planta de producción.

La distribución en planta actual reduce al mínimo los costos no productivos entre los que se encuentra el manejo de materiales y almacenamiento, constituyendo un mix entre la distribución por proceso y la distribución por producto.

La planta está estructurada en forma de parrilla en secciones de 12x12 metros, comunicadas entre sí por pasillos de tres metros de ancho. Se cuenta con un total de 18 secciones, una de ellas inutilizada en la actualidad.

Las secciones 2.3 y 2.4 albergan las oficinas de producción, ubicadas en el corazón de la planta de producción con el objetivo de agilizar el proceso de toma de decisiones y tener un contacto significativamente cercano con el día a día de los procesos. Lo mismo ocurre con el departamento de I+D y el de calidad, situados en la sección 2.5. La localización de los baños reduce los desplazamientos de los trabajadores desde sus puestos de trabajo. En cuanto al flujo de materiales (focalizando en las bobinas), el almacenado de las bobinas de aluminio comprende las secciones 2.1 y 3.1 con una capacidad para 132 bobinas de aluminio (sólo se aprovecha un nivel para el almacenado). Las bobinas llegan a la fábrica en camiones que depositan su mercancía en el porche de descarga. Desde este lugar, las carretillas elevadoras recogen las bobinas (colocadas sobre pallets de 1x1 metros) y las almacenan en su sección correspondiente. Cuando sean requeridas, deben ser recogidas de nuevo por las carretillas elevadoras y desplazadas hasta la sección 1.1. En esta sección se efectúa la primera transformación de las materias primas. Una cortadora se encarga de la formación en flejes de las bobinas de aluminio. La otra corta las bobinas de complejo nacidas de la máquina de formación de complejo. Los flejes de complejo se destinan a las secciones 1.2 1.3 y 1.4, desde donde sale el producto terminado. Los flejes de aluminio se destinan a las secciones 1.4 (tapa-rosca) 2.2, 3.2 y 3.3 (embutidoras). De estas secciones se envían los bastones de cápsulas a las secciones 1.5, 1.6, 2.6, 3.4 y 3,5. Se embala el producto en cajas y se traslada al almacén de producto terminado.

Ilustración 4. Distribución en planta actual

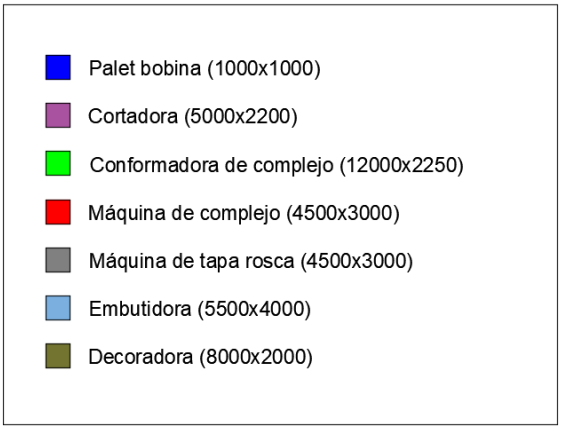


Ilustración 5. Principales máquinas operativas

La empresa se encuentra en periodo de expansión y en el diseño inicial no se estudió la hipótesis de un aumento de ventas para la compañía, con el consecuente aumento en la producción y por ende de las máquinas.

El puente grúa trata de dar solución a este problema y de encontrar la distribución más óptima en la planta, que reduzca el número de desplazamientos y a la vez permita mayor espacio para la implantación de nuevas máquinas en la fábrica. El puente grúa se situará en la sección 3.1.

El espacio que ocupe el sistema de puente grúa va a depender de 4 factores:

- El número de bobinas procesadas al día.
- Tamaño de las bobinas.
- Número de bobinas que componen cada lote de aprovisionamiento.
- Recorrido de las bobinas (desde su posición de almacenamiento hasta su lugar de procesado).

Los cálculos pertinentes se recogen en el documento ANEXOS.

4 Referencias

4.1 Software

- Hojas de cálculo, Excel.
- AutoCad 2017 y SolidWorks 2017 para la realización de planos y modelado 3D.
- Presupuesto y mediciones realizados con el programa Presto.
- ANSYS, para el diseño de elementos por medio del método de elementos finitos.
- Microsoft Project para el diagrama de Gantt.
- Se empleó CYPE para el diseño de estructuras y cimentación.
- Diseño de programación PLC con el software CX-Programer.

4.2 Bibliografía

(2015). Lección5. *Tipos de documentación del proyecto*. [Apuntes de la asignatura de Proyectos]. Universidad de La Rioja.

(2015). PRONTUARIO *Cálculo, Diseño y Ensayo de máquinas*. [Apuntes de la asignatura de Cálculo, diseño y ensayo de máquinas]. Universidad de La Rioja,

Félez Mindán, J. (2008*). Ingeniería gráfica y diseño*. Madrid: EDITORIAL SÍNTESIS.

Manual de uso y manteniendo polipastos GH (2002). Beasain.

GH Cranes & Components.
https://www.ghcranes.com/es/

Manual de CX-programmer.
https://assets.omron.eu/downloads/manual/es/v1/r132_cxprogrammer_fb_library_getting_started_guide_es

López Morales, J. (2014). *Módulo de entrenamiento para el control de posición y velocidad de servomotores mediante PLC con interfaz SCADA*. Trabajo fin de máster.
https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13477/TFM%20Jos%C3%A9%20Antonio%20Morales%20Ceballos%20y%20Javier%20L%C3%B3pez%20Morales.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Resa Fernández, C. (2011). *Diseño y cálculo de grúa para almacén con capacidad de 5 T.* Proyecto fin de carrera. Universidad Carlos III.
https://earchivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/13670/PFC_Carlos_Resa_Fernandez.pdf;jsessionid=E95835DB5045C590020CF637B5EA12B8?sequence=2

Ricardo Esteban, C. (2010). *Diseño de puente grúa de 5 toneladas.* Universidad de Ciencias Aplicadas Mittweida.

Martínez Ribes, D. (2016). *Diseño y cálculo de la estructura de una grúa pórtico de 50 toneladas y 50 metros de luz.* Universitat Jaume I.
http://repositori.uji.es/xmlui/bitstream/handle/10234/163890/TFG_Marti%CC%81nez%20Ribes%2C%20David.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Domínguez Socorro, F.J. (2014). Proyecto técnico: Instalación de un puente grúa en la nave de la EDAM montaña blanca.

5 Definiciones y abreviaturas

5.1 Definiciones

Unidad de obra: es la parte de una obra civil que se mide y valora en forma independiente o agrupación de partes de la obra, que se valoran en función de una misma unidad de medida.

Fraguado: es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón.

Línea de vida: sistema de seguridad que protege frente a caídas.

Área de INPUT: es la zona donde se debe depositar manualmente la bobina para que sea sustraída por el PG y colocado en el almacén.

Área de OUTPUT: es la zona donde el PG deposita la bobina para que sea procesada o por la cortadora o por la máquina de formación de complejo.

Eslinga: cincha o elemento de elevación.

Esmerilado: es una operación con la que se trata de conseguir unas superficies con irregularidades superficiales muy bajas, es decir, con rugosidad muy reducida.

Ferodo: se trata del forraje de las zapatas de los frenos, constituido principalmente por fibras de amianto e hilos metálicos.

Coeficiente de Poison: constante elástica que proporciona una medida del estrechamiento de sección de un prisma de material elástico lineal e isótropo cuando se estira longitudinalmente

Hipertemple: tratamiento térmico consistente en calentar el acero a una temperatura suficientemente alta para eliminar las alteraciones estructurales debidas a procesos de fabricación, mantenerlo en tal temperatura durante el tiempo necesario para solubilizar los carburos y enfriarlo con suficiente velocidad como para evitar nuevamente la precipitación de los carburos.

Excéntrico: que gira en torno a un eje que no pasa por su centro geométrico.

Material elástico: material que tiene la capacidad de recobrar su forma y dimensiones primitivas cuando cesa el esfuerzo que había determinado du deformación.

Cola de milano: es el corte dado en el extremo de una pieza, en forma de trapecio, más ancha por la cabeza que por el arranque.

Par: es el momento de fuerza que ejerce un motor sobre el eje de transmisión de potencia.

Centro de gravedad: es el punto de aplicación de la resultante de todas las fuerzas de gravedad que actúan sobre las distintas porciones materiales de una pieza.

Complejo: bobina formada por dos capas de aluminio separadas por una de polietileno.

Liner: sello de plástico espumado colocado en el interior de la cápsula permitiendo la hermeticidad del envase, ajustando la tapa a las deformaciones en los cuellos de las botellas.

5.2 Abreviaturas

HM: Hormigón en Masa.

HL: Hormigón de Limpieza.

PG: Puente Grúa.

MEF: Método de Elementos Finitos.

MRP: Material Requirement Planning (Planificación de acopio de materiales).

PLC: Programmable Logic Controller (Autómata programable).

LGA: Línea General de Alimentación.

CAD: Computer-aided Design (Diseño asistido por ordenador).

PM: Pulsador de Marcha.

IGES: Initial Graphics Exchange Specification.

L: Luz.

2D: Dos Dimensiones.

3D: Tres Dimensiones.

CS: Coeficiente de Seguridad.

ASME: American Society of Mechanical Engineers.

PIAs: Pequeños Interruptores Automáticos

HVP: Altura de la Viga Principal.

ELS: Estados Límite de Servicio.

ELU: Estados Límite Últimos.

EBSS: Estudio Básico de Seguridad y Salud.

CC: Corriente Continua.

E: Entrada.

S: Salida.

B: Brake (Freno).

MI: Motor girando en sentido Izquierdo.

MD: Motor girando den sentido Derecho.

E: Encoder.

UNE: Una Norma Española. Son un conjunto de normas, normas experimentales e informes (estándares) creados en los Comités Técnicos de Normalización (CTN) de la Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR).

ISO: International Organization for Standardization (Organización Internacional de Estandarización)

R.D.: Real Decreto.

U.O.: Unidad de Obra.

CTE: Código Técnico de la Edificación

6 Requisitos de diseño

El aparato o conjunto diseñado se instalará en el interior de la nave industrial, siendo parte del proceso de fabricación de ésta.

Como regla básica, debe hacer plausible el objetivo principal para el que se diseña, es decir, dotar a la planta industrial de un mayor espacio reduciendo el cedido al almacenado de bobinas.

De las condiciones expuestas a continuación, muchas de ellas se derivan de los cálculos realizados en el documento Anexos, pero aun así se reflejan en este apartado como método de recogida de información.

6.1 Condiciones técnicas

- El modelo combinará elementos mecánicos, eléctricos y electrónicos.
- Actuadores y motores serán propulsados por energía eléctrica, excluyendo la energía hidráulica y la neumática.
- Todo el conjunto se debe diseñar enfocándolo hacia la robustez, sencillez y funcionalidad de todos sus elementos.
- Los sistemas y estructuras que incorporan serán un misceláneo entre piezas comerciales solicitadas a un fabricante de confianza y elementos diseñados específicamente para esta aplicación.
- Facilidad para montar y desmontar.
- Máxima cobertura de movimientos en el área que ocupa.
- Control del PG mediante una botonera situada a los pies de la estructura.
- Los elementos móviles se deben diseñar con visión hacia la automatización del PG, por lo que los movimientos deberán ser suaves.
- Simetría.
- Homogeneización y estandarización de elementos.
- Dotar a la máquina de dispositivos de seguridad y alarma en caso de fallo.
- Se facilitará la implementación de medidas de mejora a posteriori. Estas son: inclusión de un dispositivo de giro de la garra y elevación de bobinas hasta un cuarto nivel.
- La alternativa considerada como óptima será la que suponga la utilización de una menor cantidad de material cumpliendo la normativa vigente.
- La vida útil de la estructura de la grúa se establece en 50 años.
- Se considera que funcionará una media de 250 días al año, realizando 54 ciclos de maniobra al día de media.

6.2 Condiciones geométricas

- La luz se considera la distancia horizontal entre los pilares de las dos estructuras. Se ha establecido en 6,5 metros.
- La altura de elevación H es la distancia vertical entre el plano de apoyo del aparato y el punto de mayor elevación del gancho. Se ha establecido en 4,730 metros.
- Debido a las exigencias en cuanto a luz y carga, la grúa tendrá una configuración monorraíl, es decir, estará provista de una sola viga principal sobre la que se desplazará el carro.
- La longitud de la estructura está determinada por los cálculos de la producción de bobinas, y es de 14 metros.

- Las bobinas son cilíndricas, de un metro de ancho. El diámetro exterior es de 0,8 metros, el interior de 0,4 metros.

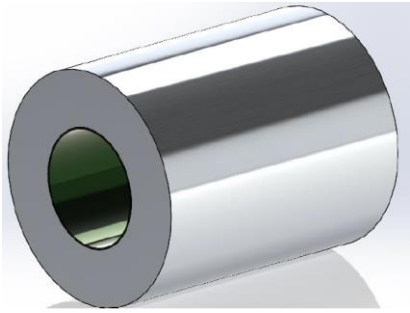


Ilustración 6. Bobina: elemento fundamental de la aplicación

6.3 Cargas

- La carga útil o nominal es de una tonelada. Ésta incluye únicamente el peso del objeto a elevar, ya que no son necesarios utensilios adicionales para su amarre en la garra.
- El peso del conjunto formado por el carro, el polipasto, sus elementos de accionamiento y la garra se ha establecido en 0,75 toneladas.
- La carga de servicio es la suma de la carga útil y el peso del carro-polipasto y la garra. Por tanto, la carga de servicio asciende a 1,75 toneladas.
- Las velocidades de maniobra para la traslación y elevación de las cargas se encuentran definidas en el documento Anexos.

6.4 Condiciones de resistencia y flecha

- Los perfiles de acero laminado empleados serán de material S-275.
- Las barras de aceros que estén sometidas a esfuerzos no deben sobrepasar el límite elástico.
- Tanto las vigas carrileras como la viga principal no deben sobrepasar el valor de flecha de L/1000.

6.5 Simplificaciones del modelo

- Se simplifica el diseño de la garra, abarcando únicamente las piezas principales que la constituyen.
- En la mayoría de los cálculos a resistencia y flecha, las cargas se aglutinan en una sola carga puntual en el punto más desfavorable.
- El diseño electrónico y de control mediante PLC y procesador de datos no se explica en profundidad, dando lugar a simplificaciones en las operaciones y secuencias de movimientos que realiza la garra. Es el caso de las instrucciones que debe seguir la garra para coger y dejar bobinas en una u otra fila o en uno u otro nivel.
- El PG en su conjunto debe tener la posibilidad de trabajar en modo automático y en modo manual. Sin embargo, la solución final adoptada en este proyecto consiste en un mix de ambas, es decir, la aplicación es semi-automática.

7 Análisis conceptual del puente grúa

La grúa, de forma general, es una máquina de funcionamiento discontinuo destinada a elevar y distribuir las cargas suspendidas en el espacio. Puede ser a través de un gancho, una garra, o cualquier otro elemento que forme parte de sus elementos constructivos.

Dentro del ámbito industrial se pueden encontrar cinco tipos de grúas: Puente grúa, grúa pórtico, grúa semi-pórtico, grúa ménsula, y grúa de brazo giratorio.

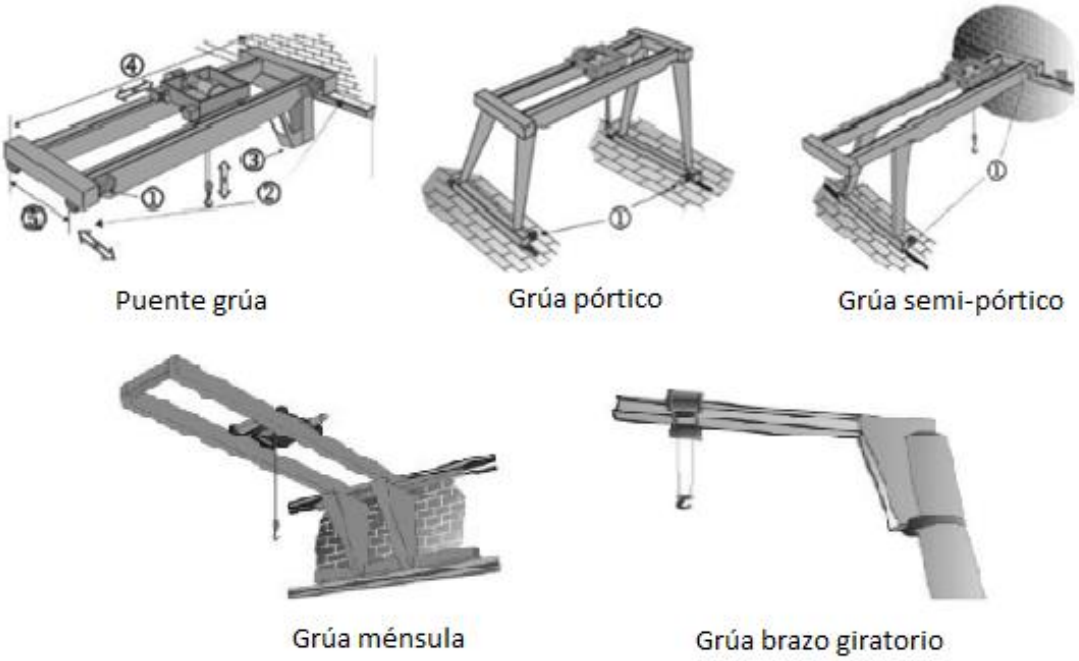


Ilustración 7. Tipos de grúa industrial

Para la aplicación concreta a la que se va a destinar, el puente grúa es el sistema que mejor se adapta a las necesidades de la empresa.

Así, un puente grúa se define como el aparato constituido por diferentes elementos y mecanismos que tiene como función distribuir cargas dentro del espacio de su rango de acción. Su uso se encuentra limitado a su lugar de montaje siendo por tanto una grúa de tipo fijo.

El movimiento de los puentes grúa suele realizarse a lo largo de una edificación, generalmente un almacén o una nave industrial, y sus movimientos permitidos están claramente identificados siendo imposible modificarlos. En la aplicación actual, la estructura del puente grúa es independiente de la del edificio, es decir, cuenta con sus propios pilares y ocupa un espacio relativamente reducido dentro del edificio donde se instala.

7.1 Elementos generales de un puente grúa

7.1.1 Estructura

La estructura principal de los puentes grúa es, por normal general, bastante genérica para todos los tipos de puente grúa. Se caracteriza porque en la gran mayoría de los casos contiene los siguientes elementos:

1. Polipasto o carro móvil principal
2. Viga principal de la grúa
3. Chapas de unión
4. Vigas testeras o testeros
5. Motor de traslación del puente
6. Mando de control cableado o radio control
7. Equipamiento eléctrico de la grúa
8. Equipamiento eléctrico del carro principal
   – Con interruptor de límite de izado
   – Con detector de carga
9. Gancho de amortiguación
10. Montaje del raíl C
11. Fuente de alimentación eléctrica
12. Cable alimentación eléctrica

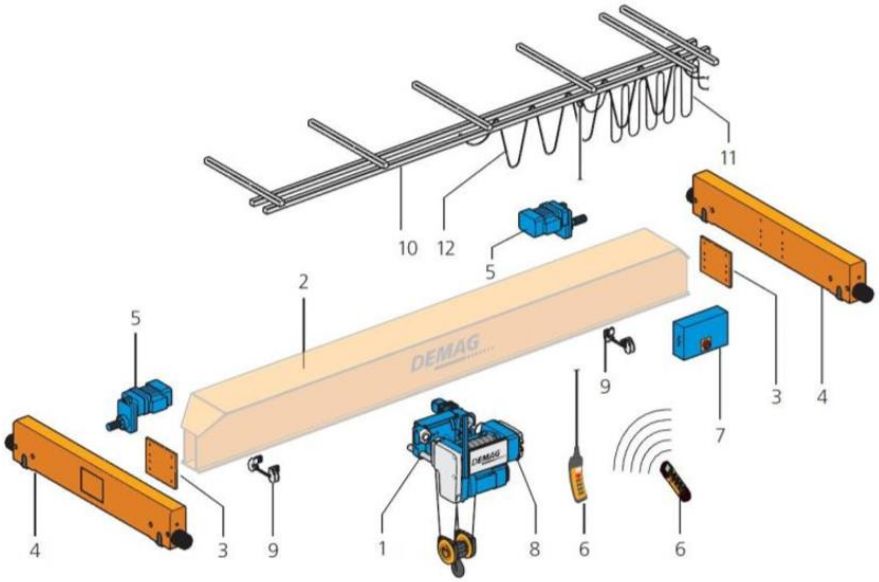


Ilustración 8. Componentes de la estructura de un puente grúa

El aparato estudiado a lo largo de este proyecto es un caso muy similar al citado. Como se introdujo en el alcance, no se han diseñado todos los componentes de este, pero es conveniente visualizar todos los componentes del mismo.

A continuación, se expone un pequeño resumen de las principales partes de las que consta el aparato y una pequeña descripción de cada una:

- Viga principal

Es la parte principal de la estructura. Su función es la de soportar las solicitaciones del carro móvil y la carga de servicio siendo por tanto la parte crítica de la estructura.

- Carro principal

El carro principal o simplemente carro se trata del mecanismo encargado de elevar, descender o mover la carga a lo largo de la viga principal.

- Vigas testeras

Las vigas testeras o simplemente testeros son las vigas laterales sobre las que descansa la viga principal. Deslizan sobre una superficie o ruedan sobre un carril y su función es la de derivar los esfuerzos provenientes de la viga principal a los apoyos. Dentro de ellas se alojan las ruedas.

- Unión Viga - Testeros

La unión viga-testero es la encargada de transferir los esfuerzos desde la viga principal a las vigas testeras laterales. Debe transferir y soportar todos los esfuerzos y por ello debe de ser excepcionalmente rígida. Para ello se realiza mediante distintos elementos y procedimientos que aseguren su rigidez. Se pueden diferenciar 2 procedimientos de unión:

  - Chapa frontal

  Por norma general los perfiles de la viga principal no poseen un extremo solido extenso, más allá de la propia superficie del perfil. Por esta razón, y para facilitar el montaje y aumentar la resistencia, el perfil de la viga principal se suelda a una chapa que posee las mismas dimensiones que el área del perfil (incluyendo los espacios huecos y las distancias entre almas). Se la denomina chapa frontal por el tipo de unión que posee a la estructura.

  - Unión atornillada

  Con el objetivo de poder unir la viga principal a las vigas testeras se ha seleccionado, entre todas las opciones posibles, realizar una unión atornillada a ambos lados de la viga principal. Esta decisión viene motivada principalmente por una gran resistencia a la unión, la facilidad de montaje/desmontaje y la fiabilidad de la unión.

7.1.2 Mecanismos

Al igual que cualquier maquinaria industrial, esta estructura necesita una serie de mecanismos para poder operar. Los mecanismos, al igual que la estructura, que suelen ser característicos de un puente grúa son:

- Mecanismo de traslación del puente

Este dispositivo es el encargado de transportar la viga principal. En realidad, se trata de 2 motores gemelos de iguales características que funcionan sincronizados, para evitar movimientos oblicuos, gracias al microcontrolador incluido en la estructura.

- Mecanismo de elevación de la carga

Este módulo tiene la función de hacer elevar/descender la carga principal. Se trata del módulo de mayor potencia de toda la estructura y posee numerosos sistemas de seguridad.

- Mecanismo de traslación del carro

Este es el encomendado a movilizar el carro principal de la estructura y la carga que transporte a lo largo de la viga principal en su movimiento horizontal transversal.

7.2 Movimientos característicos de un puente grúa

Los puentes grúa poseen, si no se especifica lo contrario o se limita por disposiciones constructivas, como mínimo 3 tipos de movimientos operativos independientes. Estos 3 movimientos son los mínimos que posibilitan un rango volumétrico, es decir, capaces de mantener una carga dentro de su espacio de operación.

Antes de comenzar a cuantificar dichas solicitaciones se debe aclarar la nomenclatura utilizada. Se debe esclarecer el sistema de referencia para que no exista posibilidad de error al poder existir cierta confusión al utilizar la notación longitudinal-transversal. Esta puede emplearse para referirse al sentido en la dirección longitudinal principal de la viga principal y a su vez para poder referirse a la dirección longitudinal principal de la nave (perpendicular a la anterior).

De ahora en adelante se utilizará la notación longitudinal para hacer referencia a la dirección perpendicular a las vigas carrileras del puente grúa, y transversal la dirección paralela a dichas vigas.

Estos 3 movimientos principales son:

1. Un movimiento de elevación/descenso de carga
Este movimiento se realiza en dirección vertical perpendicular al plano del suelo.

2. El movimiento del puente a lo largo de los carriles
El citado movimiento se realiza en la dirección horizontal transversal de la estructura donde se halla.

3. El movimiento del carro principal
Se realiza en dirección horizontal longitudinal a la estructura

Por motivos de seguridad las combinaciones de movimientos se encuentran bloqueadas, permitiendo la activación de un solo movimiento en cada etapa o secuencia.

7.3 Clasificación de PG por el número de vigas principales

Según este procedimiento de clasificación se pueden encontrar:

- Monorraíl

Se trata de la versión más económica y óptima para pequeñas cargas o grandes cargas y pequeñas luces. Esta es la escogida en el proyecto.

Ilustración 9. Puente grúa monorraíl: una sola viga principal

- Birraíl

Los modelos que disponen de 2 vigas principales se utilizan mayoritariamente en estructuras que deben cubrir grandes luces, donde una única viga es insuficiente debido a los grandes esfuerzos que deben soportar, o para grandes cargas en las que es necesario dividir los esfuerzos en más de una viga y el carro debe desplazarse por encima de la estructura.

Ilustración 10. Puente grúa birraíl: dos vigas principales

8 Resultados finales

En este apartado se recogen los resultados obtenidos tras el proceso de cálculo llevado a cabo en los Anexos.

8.1 Características del puente grúa

- Denominación: GRÚA PUENTE APOYADA AUTOMATIZADA
- Fabricante: Empresa MAYUR S.A.
- Nº de fabricación: 7394
- Domicilio: Av. Del Ebro Nº7 ARRÚBAL (LA RIOJA)

La máquina de este estudio es un Puente grúa monoviga de 1 t de capacidad de elevación nominal y una luz entre ejes de raíles de 6,74 m. La longitud total del mismo es de 14 m. Los límites de utilización son diferentes. La zona de trabajo es de 4 m en altura, 11,75 m longitudinalmente y 4,5 m en traslación.

El objetivo principal de la máquina es el desplazamiento vertical, horizontal y en profundidad de una carga de 1000 kg (bobina de aluminio) según las velocidades de trabajo indicadas. Una garra permite portar estas bobinas. El puente grúa está diseñado para la carga, descarga y transporte de esta carga en concreto (en dimensiones y peso máximo).

La máquina se compone de los siguientes elementos:

- Una estructura de 6 pilares y dos vigas carrileras sobre los que se desplaza el puente grúa.
- Los dos testeros sobre los que se asienta la viga principal y en donde se ubican los mecanismos de traslación.
- La viga principal sobre la que se mueve el carro.
- El carro donde va ubicado el polipasto y el mecanismo de dirección.
- La garra que, compuesta por un bloque principal y unos brazos extensibles, se sujeta por un gancho al cableado del polipasto.

8.1.1 Características principales

Año de fabricación…… 2018
Tipo de máquina…… Grúa puente monorraíl
Luz…… 6,74 m (entre ejes)
Carga nominal…… 1 T
Tensión de alimentación……. 380 V. F = 50 Hz
Tensión de mandos…….. 220 V

GARRA

Capacidad…… 1 t
Altura máxima…… 3,7 m
Altura mínima…….. 0,36 m
Apertura…….. 1200/1620 m
Cierre…… 800/1220 m
Velocidad…… 0,05 m/s

Reductora tipo…… R02-VARVEL
Servomotor tipo…… R88M-K 2K010C-
Potencia…… 2 kW
R.P.M……..1000
Par……19,1 Nm

ELEVACIÓN

Polipasto tipo	GHB11	Diámetro del cable	0,8 plg
Grupo Mecanismo s/n FEM	M7	Diámetro de la polea	0,2 m
Capacidad	2 t	Nº de gancho s/n 15401	2,5
Recorrido vertical	3,54 m	Motor de elevación	80T 1/4
Velocidad de elevación	0,083 m/s	Potencia	1,1 kW
Nº de ramales	4/2	R.P.M	2100
Diámetro del tambor	0,2 m	Freno de disco C.C.	

DIRECCIÓN

Modelo del carro	Monorraíl	Reductora tipo	SK 1282
Grupo Mecanismo s/n FEM	M7	Motor de dirección	80T 1/4
Diámetro rueda	0,16 m	Potencia	1,1 kW
Disposición	Altura reducida	R.P.M	2100
Velocidad	0,25 m/s	Freno de disco C.C.	

TRASLACIÓN

Modelo de puente	Monorraíl	Reductora tipo	SK 1282
Velocidad de traslación	0,25 m/s	Motor de traslación	80T 1/4
Diámetro rueda	0,125 m	Potencia	1,1 kW
Anchura riel	0,045 m	R.P.M	2100
Perfil tubo rectangular hueco	200x150x20	Freno de disco C.C.	
Luz entre ejes	1,6 m		

VIGA PRINCIPAL

Perfil	IPE 330	Longitud	6,5 m
Material	S-275	Unidades	1

VIGA CARRILERA

Perfil	IPE 300	Longitud	7 m
Material	S-275	Unidades	4

PILARES

Perfil	HE 240 B	Longitud	5 m
Material	S-275	Unidades	6

8.1.2 Medidas principales

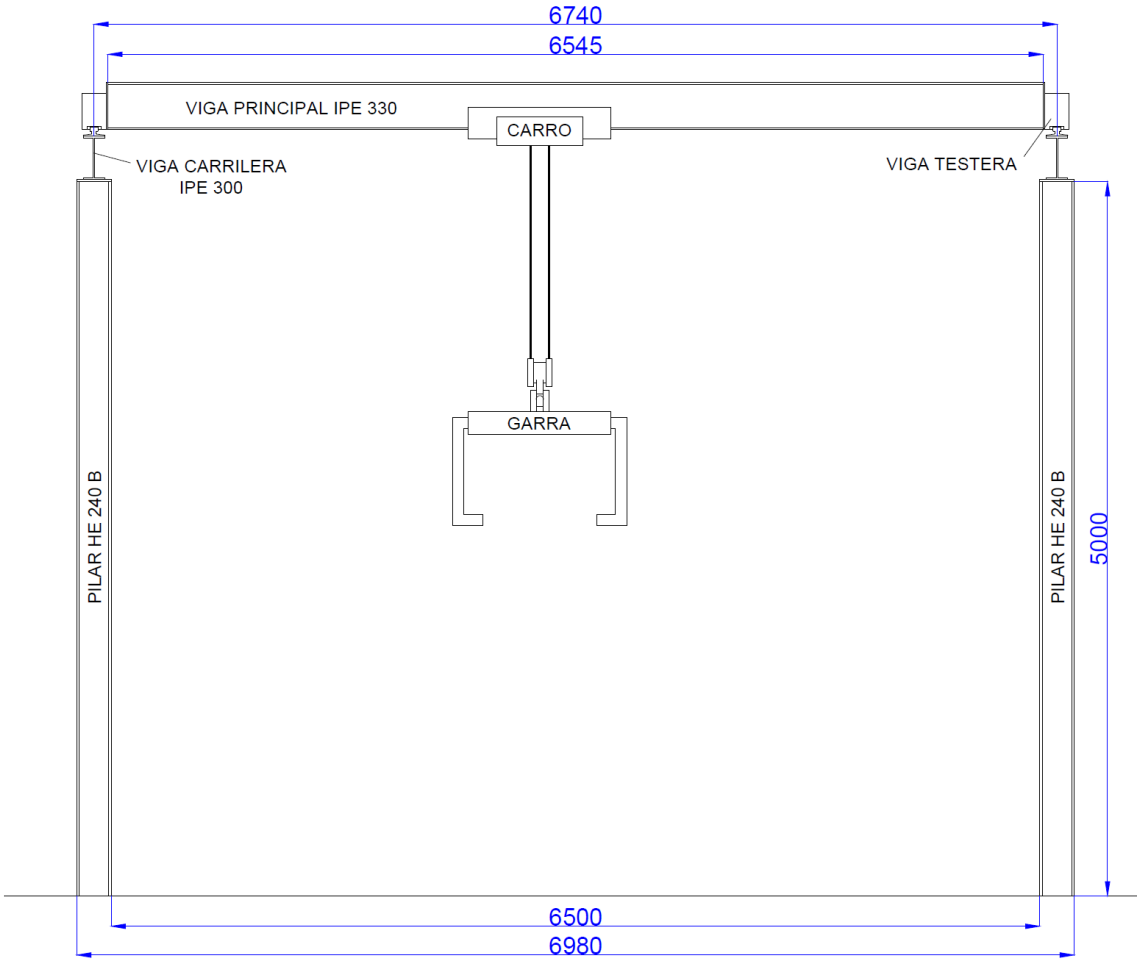


Ilustración 11. Medidas puente grúa en vista frontal

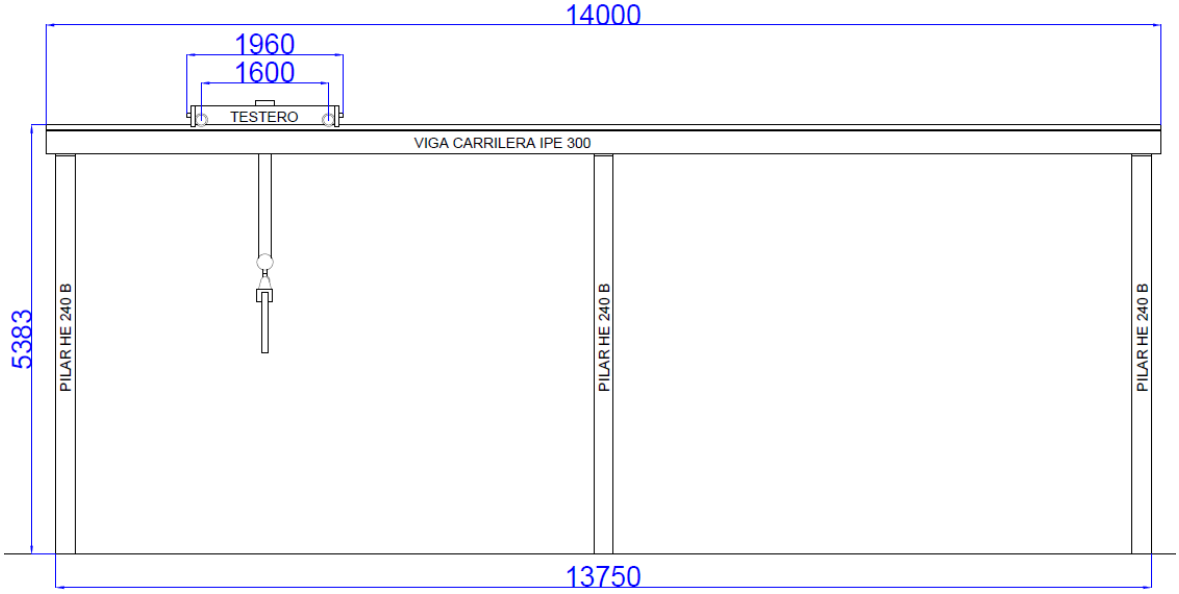


Ilustración 12. Medidas puente grúa en vista lateral

8.2 Distribución en planta final

La inclusión del puente grúa posibilita el aumento de máquinas en la planta, aportándole mayor capacidad de producción.

A pesar de los cambios realizados por motivos evidentes, se ha buscado modificar en el menor grado posible la distribución inicial, conservando la distribución en planta original del proceso productivo.

Las 4 máquinas decoradoras se deberán implantar en la sección 3.6, espacio que se encuentra libre.

De la sección 1.1 se retira completamente todo (formador de complejo, las dos cortadoras, y el espacio destinado a los flejes). En su lugar, operarán dos embutidoras y dos máquinas de complejo. Además, el espacio libre restante se aprovechará como almacén de polietileno.

La modificación de mayor índole corresponde a las secciones 2.1 y 3.1. La reestructuración de la planta obliga a la unión de estas dos secciones, de modo que pasarán a ser una sola suprimiendo el pasillo que las separaba. En los 324 metros cuadrados que componen esta doble-sección se ubica el puente grúa (zona de input, almacenado y output), en su lado inferior izquierdo. Todo el proceso de formación de complejo y corte se realiza en esta nueva doble-sección. Como es lógico, una parte de espacio se destina al almacenado de flejes para procesos posteriores. Por último, dos máquinas de tapón rosca producirán cápsulas en la doble-sección. Es evidente que se encuentran alejadas de sus homónimas, lo que supone una pequeña desventaja para el día a día de la fábrica, pero se dispone así para alterar lo más mínimo la orientación de máquinas inicial. Aun así, no existe restricción alguna para modificarlo en un futuro.

Ilustración 13. Distribución en planta final

8.3 Garra

La garra es el sistema que permite a la máquina portar las bobinas. Se han calculado y diseñado la mayor parte de sus componentes, a excepción de piezas comerciales.

Básicamente, es un sistema electromecánico constituido por un bloque principal sobre el que deslizan dos brazos independientes. La apertura o cierre de estos brazos es lo que permite agarrar o soltar la bobina.

Como sistema de accionamiento de los brazos se ha optado por un mecanismo de piñón cremallera, impulsado por un servomotor.

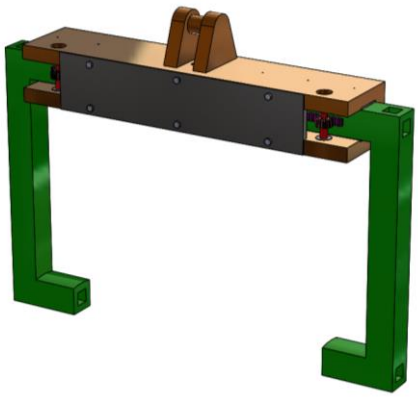


Ilustración 14. Garra

Las dimensiones y materiales de las piezas que componen la garra se encuentran detallados en el documento Planos. No es así el caso del servomotor y el reductor, que se colocarán en la parte de arriba del bloque principal, acoplados al eje. Sus características se detallan a continuación:

8.3.1 Motor de la garra

Se requieren dos servomotores del fabricante Omron. Se elige servo ya que es un dispositivo muy similar a un motor de corriente continua pero que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en dicha posición, lo que lo hace ideal para la aplicación. Además, puede ser controlado tanto en velocidad como en posición.

El servo elegido cuenta con freno, pues la estabilidad del sistema depende de ello.

Se escoge el 2K010C- (absoluto), del modelo R88M-K.

Ilustración 15. Servomotor

Es un servo de CC de potencia 2000 W, par nominal 19,1 Nm y 1000 rpm de velocidad nominal.

Servo de 400 V con aislamiento tipo F.

El resto de las características técnicas se recogen en la Tabla 1.

Servomotores estándar de 1.000 rpm, 230 V/400 V

Valores nominales y especificaciones

Tensión aplicada			230 V	400 V				
Modelo de servomotor R88M-K□		Incremental de 20 bits	90010H-□	90010F-□	2K010F-□	3K010F-□		
		Absoluto de 17 bits	90010T-□	90010C-□	2K010C-□	3K010C-□	4K510C-□	6K010C-□
Salida nominal		W	900	900	2.000	3.000	4.500	6.000
Par nominal		N·m	8,59		19,1	28,7	43,0	57,3
Par máximo instantáneo		N·m	19,3		47,7	71,7	107,0	143,0
Corriente nominal		A (eficaces)	7,6	3,8	8,5	11,3	14,8	19,4
Corriente máx. instantánea		A (eficaces)	24	12	30	40	55	74
Velocidad nominal		$min.^{-1}$	1.000					
Velocidad máx.		$min.^{-1}$	2.000					
Constante de par		N·m/A	0,86	1,72	1,76	1,92	2,05	2,08
Momento de inercia del rotor (JM)		$kg·m^2 \times 10^{-4}$ (sin freno)	6,70		30,3	48,4	79,1	101
		$kg·m^2 \times 10^{-4}$ (con freno)	7,99		31,4	49,2	84,4	107
Momento de inercia de la carga admisible (JL)		Múltiplo de (JM)	10^{-1}					
Relación de potencia nominal		kW/s (sin freno)	110		120	170	238	325
		kW/s (con freno)	92,4		116	167	219	307
Carga radial admisible		N	686		1.176	1.470		1.764
Carga axial admisible		N	196		490			588
Masa aprox.		kg (sin freno)	6,7		14	20	29,4	36,4
		kg (con freno)	8,2		17,5	23,5	33,3	40,4
Especificaciones del freno	Tensión nominal		24 Vc.c. ±10%					
	Momento de inercia del freno de retención J	$kg·m^2 \times 10^{-4}$	1,35		4,7			
	Consumo eléctrico (a 20°C)	W	19		31	34		
	Consumo de corriente (a 20°C)	A	0,79±10%		1,3±10%	1,4±10%		
	Par de fricción estática	N·m (mínimo)	18,7		24,5	58,8		
	Tiempo de alcance de par de retención	ms (máx.)	100		80	150		
	Tiempo de desconexión	ms (máx.)	50		25	50		
Especificaciones básicas	Tiempo de funcionamiento		Continuo					
	Categoría de aislamiento		Tipo F					
	Temperatura ambiente/temperatura de almacenamiento		0 a +40°C/−20 a 65°C					
	Humedad ambiente de funcionamiento/humedad de almacenamiento		Humedad relativa de 20 a 85% (sin condensación)					
	Categoría de vibración		V-15					
	Resistencia de aislamiento		20 MΩ min. a 500 Vc.c. entre los terminales de alimentación y el terminal FG					
	Alojamiento		Totalmente cerrada, autoventilada, IP67 (excluida la sección del eje)					
	Resistencia a vibraciones		Aceleración de vibración 49 m/s^2					
	Accesorio		Montaje de brida					

Tabla 1. Tabla servomotores estándar de 1000 rpm, 230V/400V

Las partes de las que consta dicho tipo de servomotor son:

- Motor de corriente continua:
  Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado a sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.

- Engranajes reductores:
  Se encargan de convertir gran parte de la velocidad de giro del motor de corriente continua en par.

- Circuito de control:
  Este circuito es el encargado del control de la posición del motor. Recibe los pulsos de entrada y ubica al motor en su nueva posición dependiendo de los pulsos recibidos.

8.3.2 Reductor de la garra

Se escoge una caja de cambios helicoidal de bisel en línea de dos etapas Serie-R02 de VARVEL.

Este reductor trabaja a un máximo de 1400 rpm y a una transmisión de potencia de 90 W. La relación de reducción es de 45,9. Transmite un par de 30 Nm.

Ilustración 16. Reductora (acoplada a un motor)

8.4 Viga Principal

Las vigas cajón armadas son la solución estructural más empleada a la hora de construir tanto puentes grúa como grúas pórtico destinados a mover cargas medianas y grandes, con cualquier rango de luces a salvar. Su popularidad radica en que soportan realmente bien los esfuerzos de flexión simple y compuesta predominantes en este tipo de estructuras. Además, al ser secciones cerradas, son útiles cuando aparecen momentos torsores y generalmente no tienen problemas de inestabilidad lateral. Se puede construir prácticamente cualquier tipo de sección que se necesite, aunque las más habituales son rectangulares o cuadradas. Sin embargo, las características de la aplicación no requieren del uso de una viga cajón, fundamentalmente porque la carga útil es de una tonelada. Por este motivo se ha diseñado la viga a partir de un perfil IPE de acero laminado, empleando el catálogo de Acelor Mittal.

La grúa contará con una sola viga continua de 6,5 m de longitud apoyada isostáticamente en sus extremos (apoyo móvil/apoyo fijo).

El montaje de la viga principal a las vigas testeras se realiza por medio de un mix entre soldadura y unión atornillada. A los extremos de la viga principal se suelda una chapa de acero. Esta chapa es la que se atornillará a la viga testera, realizando el montaje en obra. Las uniones atornilladas son el método de ensamblaje más utilizado. Esto se debe a que en obra las soldaduras presentan diversos inconvenientes, como la dificultad para asegurar una atmósfera controlada y para realizar ensayos que garanticen la calidad de las soldaduras ejecutadas.

Se emplearán tornillos no pretensados. Este tipo de tornillos se utilizan en estructuras sometidas a cargas estáticas. En este tipo de uniones los tornillos trabajan a cortadura. Se desestiman los tornillos pretensados ya que a pesar de que existen cargas dinámicas su valor no es representativo comparado con las estáticas.

Todo lo relativo a las cargas y las hipótesis, así como las restricciones de flecha se explican detalladamente en los Anexos. Las siguientes tablas muestran las características de la viga principal.

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	$\alpha_{\cdot t}$ (m/m°C)	γ (kN/m³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01

Notación:
E: Módulo de elasticidad
ν: Módulo de Poisson
G: Módulo de cortadura
f_y: Límite elástico
$\alpha_{\cdot t}$: Coeficiente de dilatación
γ: Peso específico

Tabla 2. Materiales utilizados para la viga principal

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm²)	Avy (cm²)	Avz (cm²)	Iyy (cm4)	Izz (cm4)	It (cm4)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275	1	IPE 330, (IPE)	62.60	27.60	20.72	11770.00	788.00	28.20

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
It: Inercia a torsión
Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

Tabla 3. Características mecánicas de la viga principal

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275	N1/N2	IPE 330 (IPE)	6.500	0.041	319.42

Notación:
Ni: Nudo inicial
Nf: Nudo final

Tabla 4. Mediciones de la viga principal

8.5 Carro-polipasto

El carro polipasto cumple varias funciones. Las principales son el movimiento de elevación y descenso de la carga (eje z), así como el de dirección de esta a lo largo de la viga principal (eje y). Se especifican cada una de las partes de la máquina a continuación.

En los Anexos se han calculado los elementos más importantes de este componente del puente grúa. De acuerdo con los resultados se escoge un modelo comercial que se ajusta a las demandas de la aplicación, el GHB11_024208M7, un diseño modular con garantía de seguridad, fiabilidad, duración y gran rendimiento. El proveedor es GH Cranes & Components.

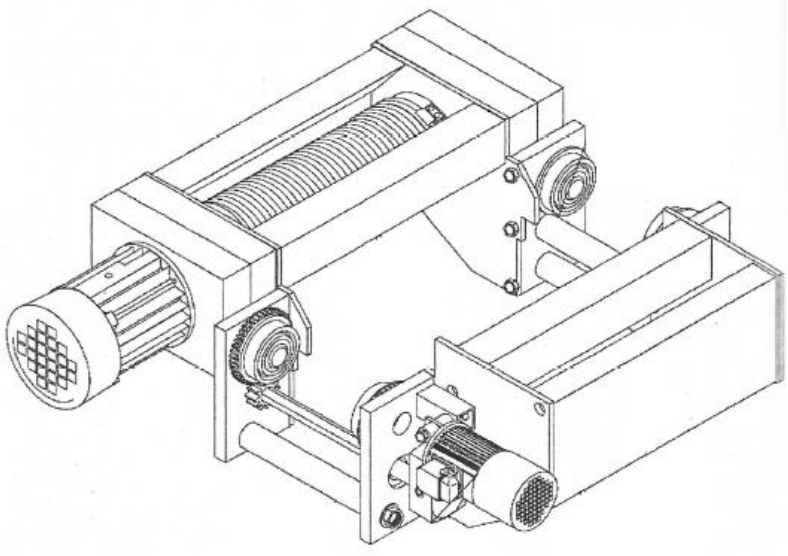


Ilustración 17. Carro-polipasto

8.5.1 Polipasto

Se encuentra dentro del carro y se encarga de la subida y bajada de la carga. Lo constituyen el motor, la caja reductora, el freno, el tambor, la guía y el bastidor.

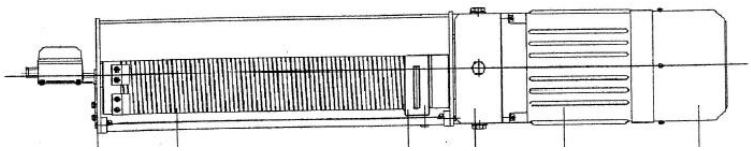


Ilustración 18. Polipasto

8.5.1.1 Freno

Se trata de un freno electromagnético de disco, con ferodos de caras planas exentos de amianto, con accionamiento frontal, permitiendo un contacto uniforme de la totalidad de la superficie del ferodo en la frenada. Los ferodos cuentan con una larga durabilidad. El freno se incorpora dentro del motor.

8.5.1.2 Motor

Situado en el exterior del polipasto, alberga el freno y un ventilador para la refrigeración de motor y freno, permitiendo un factor de marcha importante y un elevado número de arranques por hora.

El fabricante es NORD, modelo 80T ¼. Cuenta con protección IP-54 según norma DIN-40050. Clase de aislamiento F, protegido contra la humedad. Es un motor trifásico síncrono de imanes permanentes operado con un variador de frecuencia. (400 V estrella, 230 V triángulo).

MOTOR NORD 80T 1/4					
Polos	Potencia (kW)	Par (Nm)	Rendimiento	Rpm	Peso (kg)
4	1,1	5	90,5	2100	8

Tabla 5. Características motor de elevación

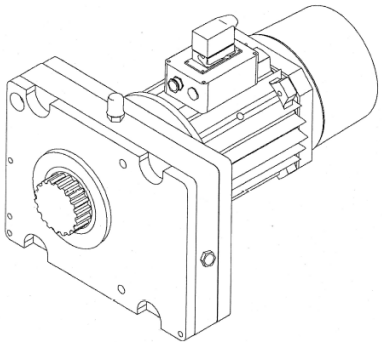


Ilustración 19. Motorreductor del tambor de elevación

8.5.1.3 Caja reductora

La caja reductora es de hierro fundido GG-20, siendo mecanizada en máquinas de centro de mecanizado, en ella van alojados los engranajes. Estos son de material cementado. El dentado de los mismos es helicoidal. La caja es bipartida y está construida por tres trenes de engranajes, los cuales están lubricados por barboteo dentro del cárter cerrado que configura la caja y en el caso de los rodamientos por salpicadura.

Todos los ejes van montados sobre rodamientos.

Todos los engranajes están montados en cajas reductoras herméticas, con tapas de inspección, orificios de drenaje bien posicionados, respiraderos, varitas indicadoras de nivel de aceite y salidas de eje herméticos.

8.5.1.4 Tambor

El tambor está construido en tubo de acero laminado.

Se ranura según norma DIN-15061. El ranurado sobre el tambor se realiza atendiendo a la particular disposición de las salidas de cable; en esta aplicación, 2 salidas. Los extremos de los tambores son montados sobre rodamientos.

El acabado superficial de las ranuras es muy fino, sin defectos e imperfecciones que puedan dañar el cable.

El diámetro del tambor es de 200 mm, tiene una largura de 782 mm y cuenta con un total de 12 espiras para el enrollado del cable.

8.5.1.5 Guía del cable

La guía del cable está construida con material de fundición esferoidal GGG-70. Su parte inferior está ranurada de forma que permite un perfecto asentamiento del cable.

La guía está formada por dos medias lunas unidas por tornillos, con unos muelles, los cables permiten dar una presión a la vez que aseguran cierta elasticidad.

Se le incorpora un resorte por la parte inferior que sujeta el cable con el objetivo de evitar que se salga el cable de la ranura del tambor. La guía del cable es guiada a lo largo del tambor a través de los perfiles laminados para evitar su giro.

8.5.1.6 Final de carrera

El interruptor final de carrera es del tipo sin-fin corona. Permite la limitación del recorrido del gancho en su posición más alta y en su posición más baja.

Este final de carrera de gran precisión va acoplado directamente al eje del tambor. Sin embargo, solo emitirá señal en caso límite de emergencia. Trabajando con normalidad, es el encoder el que debe dirigir los movimientos verticales de la garra. En caso de fallo en el encoder, será el final de carrera el elemento que asegure que la máquina no colapse.

8.5.2 Cable y aparejos

8.5.2.1 Cable

Para el diseño del cable se ha seguido la norma ANSI A17 1-1978, que precisa un coeficiente de seguridad para este tipo de máquinas de valor 6.

En primer lugar, la disposición del cableado sobre el polipasto y la polea doble es de 4/2. El cable tendrá que hacer elevar y descender una carga de 1500 kg (bobina y garra), para lo que se han obtenido los siguientes resultados como modelo de cable definitivo.

Cable 8x19 flexible EXTRA de acero monitor con trenzado torzal regular. El diámetro del alambre es de 0,053 pulgadas y el del cable de 0,8 pulgadas. Su longitud total es de 20 metros.

8.5.2.2 Polea y gancho

Las poleas se han dimensionado según la norma FEM-9661. La garganta se mecaniza siguiendo la norma DIN-15061. Cada una de las poleas tiene dos salidas. El radio del perfil de garganta es de 10 mm.

EL gancho es seleccionado según la norma DIN-15400 y mecanizado según las dimensiones señaladas según las normas DIN-15401 ya que es un gancho doble. Es de acero forjado 34CrMo4. Se monta sobre rodamientos de empuje axial los cuales se apoyan en traviesas de acero.

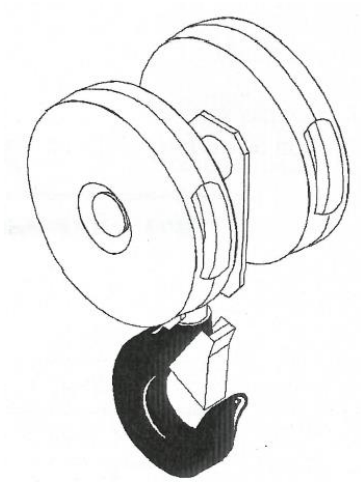


Ilustración 20. Polea doble y gancho

8.5.3 Carro

Se trata de un carro monorraíl de altura reducida, para que posteriores modificaciones en el PG sean viables. Posee una estructura compacta mecanosoldada, formada por chapas y perfiles laminados, convenientemente mecanizados que configuran la elevación y dirección del carro.

El carro monorraíl de altura reducida se caracteriza porque respecto al eje de perfil de rodadura el mecanismo que acciona la elevación queda por un lado y el contrapeso y el accionamiento de la traslación por el otro.

Básicamente se compone de los tornillos de fijación del polipasto al carro, los separadores para ajuste del carro a la viga principal, las ruedas, el mecanismo de traslación y el contrapeso.

8.5.3.1 Ruedas

Las ruedas son de doble pestaña, totalmente mecanizadas de material de fundición esferoidal GGG-70. Las conductoras van sobre ejes estriados y montadas de la misma forma que las conducidas sobre rodamientos de bolas.

Su diámetro es tal que la carga máxima no sobrepasa lo permitido por la norma F.E.M.-1001.

Los asientos de los soportes de ruedas son de tipo mecanizado para asegurar un perfecto apoyo de éstas.

El sistema empleado permite una correcta alineación de las ruedas, que es un requisito indispensable para el correcto funcionamiento de la grúa automatizada.

Los ejes de las ruedas son de acero 34CrMo4 con tratamiento térmico para obtener dureza de 250 HB. Tienen una gran resistencia y rigidez, además de un acabado final adecuado (muy fino para evitar posibles desgastes por fricción).

8.5.3.2 Carriles

Los carriles del carro los suministra GH y van montados sobre la viga principal de la grúa, más concretamente, sobre el ala inferior del perfil en doble T.

En cada extremo de las pistas de rodadura son colocados parachoques proyectados para absorber los eventuales impactos de la grúa. Son de caucho y acero y se colocan dos para cada sentido de movimiento. Son de fácil restauración.

8.5.3.3 Mecanismo de traslación

Básicamente está compuesto por el freno, el motor y el reductor y es el sistema que otorga movimiento al carro y por consiguiente permite que la garra se mueva sobre las 4 filas.
Se escoge el motorreductor SK 1282 - 80T1/4 (marca NORD), provisto de un tren de engranajes de ejes paralelos, que es lo más habitual en estas aplicaciones. El SK 1282 es de dos etapas con carcasa de hierro fundido con una superficie extremadamente lisa en la que se ha utilizado el principio de la caja de bloque NORD. Las características principales se reflejan en la siguiente tabla.

Reductor de traslación del carro		
Rpm nominales de salida	Par transmitido (Nm)	i
29	361	72,17

Tabla 6. Datos del reductor del carro

En cuanto al motor, es un motor trifásico NORD IE4 síncrono con imanes permanentes en el paquete del rotor. Solo puede operar con un convertidor de frecuencia. Como motores síncronos, los motores IE4 no tienen ningún deslizamiento dependiente de la carga.

Está diseñado para una velocidad nominal de 2100 rpm (400 V estrella, 230 V triángulo):

MOTOR NORD 80T 1/4					
Polos	Potencia (kW)	Par (Nm)	Rendimiento	Rpm	Peso (kg)
4	1,1	5	90,5	2100	8

Tabla 7. Características del motor del carro

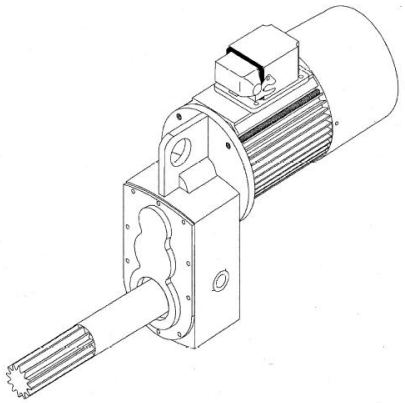


Ilustración 21. Motorreductor de dirección del carro

8.6 Viga testera

Las vigas testeras son los elementos que están ubicados en los extremos de la viga principal. Unidos a esta por medio de pernos, son los encargados de mover la viga principal del puente. Consta de un cuerpo principal o cajón con ruedas que se deslizan sobre guías que están ubicadas a lo largo de la viga carrilera. Las ruedas giran propulsadas por un motorreductor.

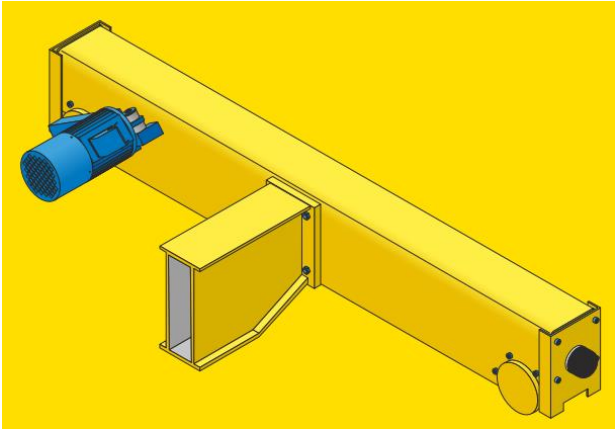


Ilustración 22. Viga testera

8.6.1 Cajón viga testera

El cajón de la viga testera se selecciona dentro del catálogo que ofrece GH CRANES & COMPONENTS. La alternativa seleccionada es un cajón con perfil rectangular hueco de 200x150x10, concretamente el TEMV125A. La siguiente imagen, junto con la tabla adjunta, reflejan las dimensiones del testero.

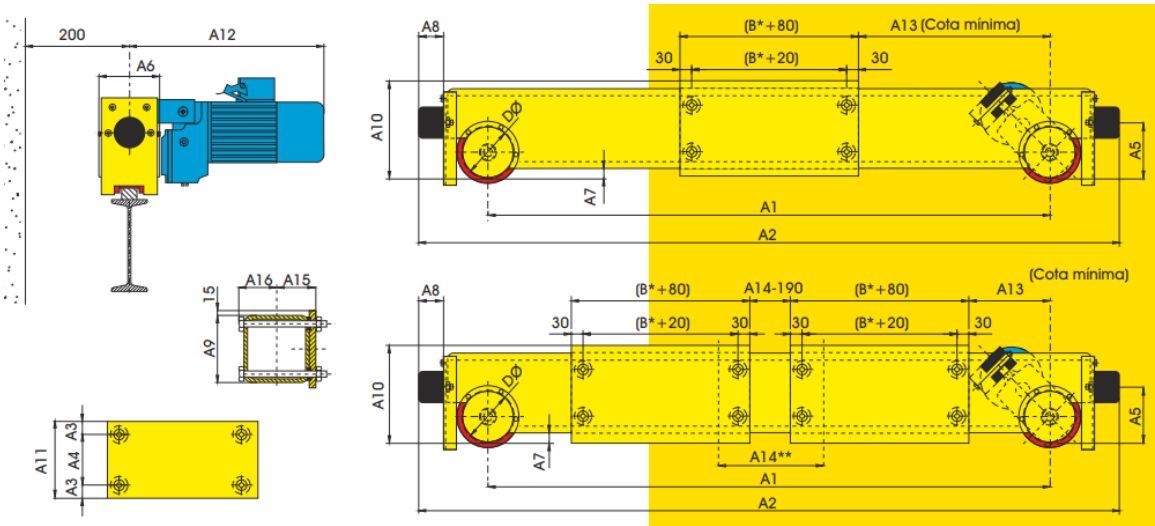


Ilustración 23. Dimensiones cajón testero para viga monorraíl

A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
1600	1960	50	130	125	171	20	80
A9	A10	A11	A12	A13	A14	A15	A16
200	235	230	475	185	_	97	103

Tabla 8. Cotas de la viga testera, en mm

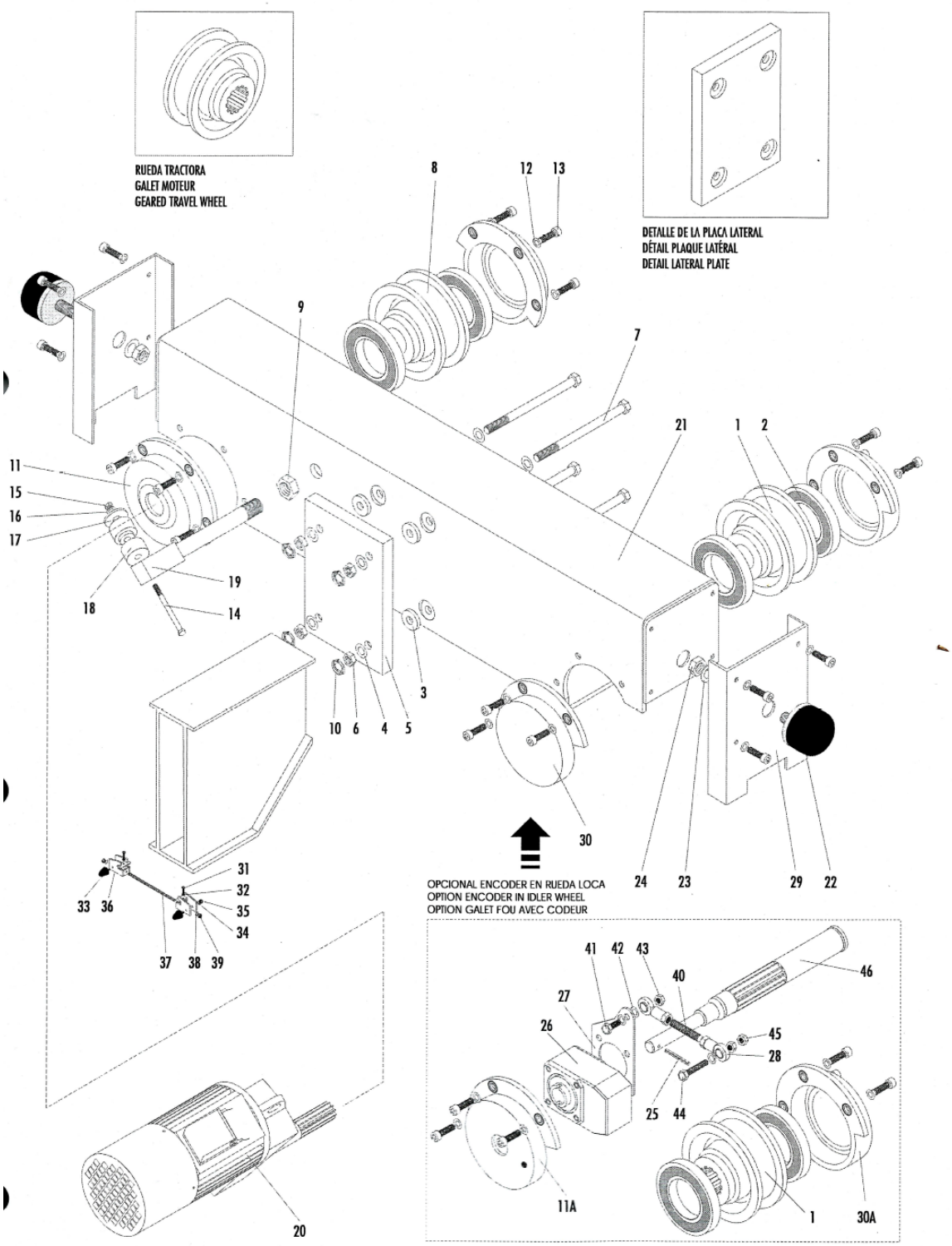


Ilustración 24. Despiece de la viga testera

8.6.2 Ruedas y rieles

Las ruedas están provistas de dos pestañas, la anchura entre las pestañas es ligeramente superior a la anchura del carril y el radio de las pestañas es menor que el redondeo del carril para evitar que la rueda se monte sobre él.

Las unidades de ruedas están constituidas por una rueda aplicada con interferencia en un eje, a su vez, montados sobre rodamientos de rodillos a rótula, alojados en cajas porta cojinetes o directamente montados sobre las ruedas.

El acero empleado es SAE 4140 con una tensión de rotura, σ_R = 110 a 120 [Kg/mm^2], al cual se le realiza un tratamiento térmico de temple a 860 ºC y un revenido a 540 ºC alcanzando una dureza de 321 – 363 HB.

El diámetro de la rueda es de 125 mm, incrustada en la estructura del cajón, de modo que su montaje se define como frontal.

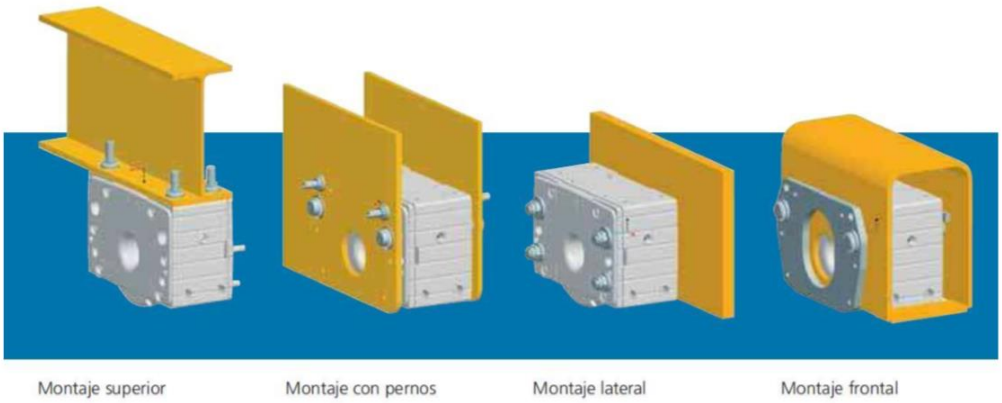


Ilustración 25. Tipos de montaje de la rueda

Como riel se escoge el perfil A 55, según la normativa europea DIN 536 P1:1991.

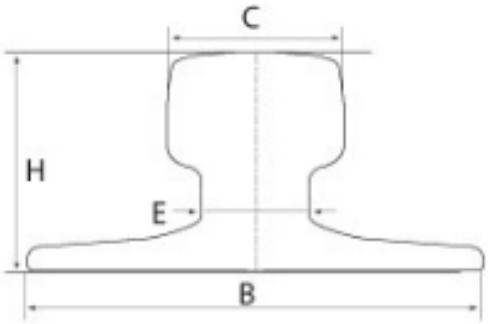


Ilustración 26. Medidas del riel

Con;

B=150 mm
H=65 mm
C=45 mm
E=31mm

8.6.3 Motorreductor

Se selecciona el modelo de motorreductor SK 1282 - 80T1/4, de la casa NORD, provisto de un tren de engranajes de ejes paralelos, que es lo más habitual en estas aplicaciones. El reductor se monta directamente sobre el eje de la rueda.

El reductor transmite un par de 295 Nm a 36 rpm como velocidad nominal.

El motor síncrono trifásico escogido opera a 2100 rpm (400 V estrella, 230 V triángulo) posee 1,1 kW de potencia y un rendimiento del 90,5 %.

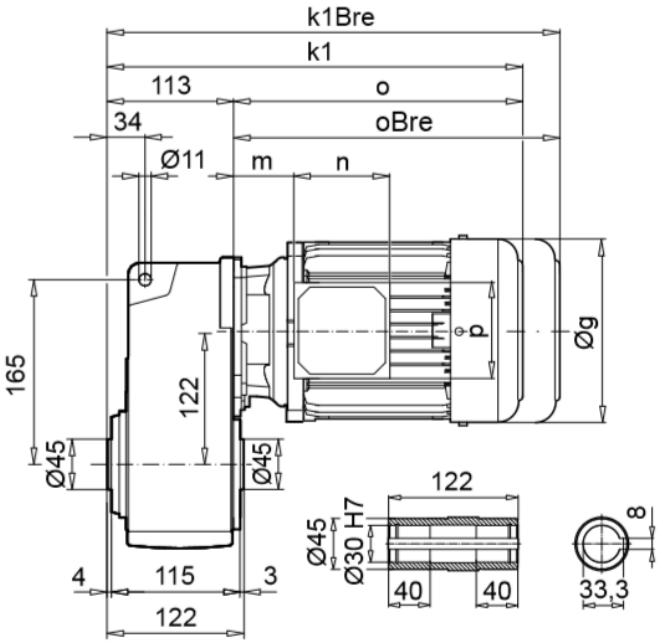


Ilustración 27. Motorreductor de la viga testera

8.7 Estructura

8.7.1 Vigas y pilares

La gran mayoría de puentes grúa ubicados en naves industriales reposan sobre vigas carrileras que se asientan en los pilares con ménsula de los pórticos transversales de la propia nave. Sin embargo, el caso que ocupa el estudio es completamente diferente. Se crea una estructura nueva dentro de la propia nave que soporte la viga principal, el carro-polipasto, los aparejos, la garra y la bobina.

Esta estructura está formada por dos órganos independientes y paralelos (separados 6,5 metros), constituidos por dos pilares laterales y uno central sobre los que se apoya una viga horizontal (viga carrilera).

La altura de ambos pórticos es de 5 metros, con una longitud de 14. Hay que señalar que a pesar de que el pilar central debe soportar más carga, todos se construyen con un perfil del mismo tamaño con el objetivo de homogeneizar la estructura.

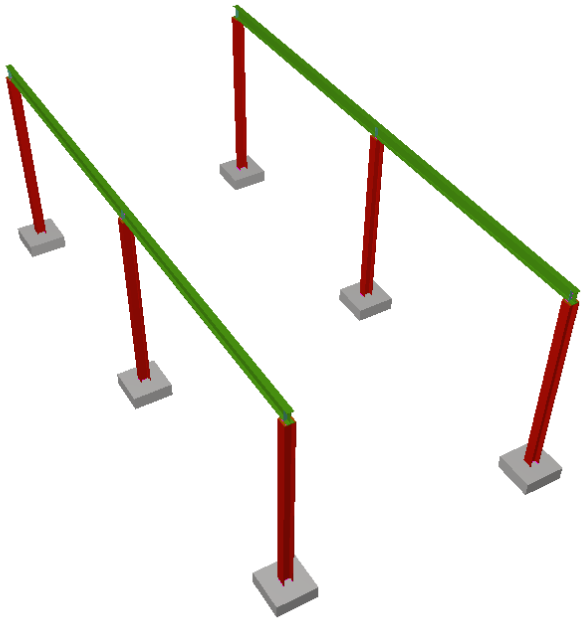


Ilustración 28. Vista de la estructura

Las siguientes tablas recogen toda la información relativa a los materiales empleados en la construcción de la estructura, las características de los perfiles, mediciones…

Materiales utilizados							
Material		E (MPa)	ν	G (MPa)	f_y (MPa)	α_t (m/m°C)	γ (kN/m³)
Tipo	Designación						
Acero laminado	S275	210000.00	0.300	81000.00	275.00	0.000012	77.01

Notación:
E: Módulo de elasticidad
ν: Módulo de Poisson
G: Módulo de cortadura
f_y: Límite elástico
α_t: Coeficiente de dilatación
γ: Peso específico

Tabla 9. Materiales utilizados en la estructura

Características mecánicas									
Material		Ref.	Descripción	A (cm²)	Avy (cm²)	Avz (cm²)	Iyy (cm4)	Izz (cm4)	It (cm4)
Tipo	Designación								
Acero laminado	S275	1	IPE 300, (IPE)	53.80	24.07	17.80	8356.00	604.00	20.10
		2	HE 240 B, (HEB)	106.00	61.20	18.54	11260.00	3923.00	102.70

Notación:
Ref.: Referencia
A: Área de la sección transversal
Avy: Área de cortante de la sección según el eje local 'Y'
Avz: Área de cortante de la sección según el eje local 'Z'
Iyy: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Y'
Izz: Inercia de la sección alrededor del eje local 'Z'
It: Inercia a torsión
Las características mecánicas de las piezas corresponden a la sección en el punto medio de las mismas.

Tabla 10. Características mecánicas de los dos perfiles empleados

Es importante resaltar que todas las barras están constituidas por acero laminado S-275. Sin embargo, el tipo de perfil difiere entre las vigas carrileras y los pilares. Atendiendo a esta premisa se tiene:

- Vigas carrileras: perfil IPE 300
- Pilares: perfil HE 240 B

Tabla de medición						
Material		Pieza (Ni/Nf)	Perfil(Serie)	Longitud (m)	Volumen (m³)	Peso (kg)
Tipo	Designación					
Acero laminado	S275	N1/N2	IPE 300 (IPE)	14.000	0.075	591.26
		N3/N4	IPE 300 (IPE)	14.000	0.075	591.26
		N5/N6	HE 240 B (HEB)	5.000	0.053	416.05
		N7/N8	HE 240 B (HEB)	5.000	0.053	416.05
		N9/N10	HE 240 B (HEB)	5.000	0.053	416.05
		N11/N12	HE 240 B (HEB)	5.000	0.053	416.05
		N13/N14	HE 240 B (HEB)	5.000	0.053	416.05
		N15/N16	HE 240 B (HEB)	5.000	0.053	416.05
Notación: *Ni: Nudo inicial* *Nf: Nudo final*						

Tabla 11. Medición de las barras de la estructura

8.7.2 Soldadura y anclaje

Este apartado hace referencia a las uniones entre las barras. Por un lado, se tiene la unión entre vigas, es decir, entre el pilar y la viga carrilera (soldadura). Por otro lado, la unión existente entre la base de cada pilar con la zapata de hormigón correspondiente (anclaje al suelo).

8.7.2.1 Anclaje

La unión del pilar HE 240 B a la zapata de hormigón la componen una placa base de 350x350x12, los respectivos cordones de soldadura y 4 pernos de 14 mm de diámetro y 30 cm de longitud (con gancho a 180 grados).

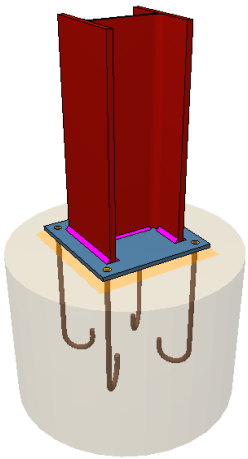


Ilustración 29. Anclaje

Los elementos que se listan a continuación, así como las mediciones de soldadura que se deben realizar, corresponden al anclaje de un solo pilar.

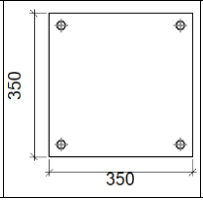
Placa base												
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Placa base		350	350	12	4	22	18	3	S275	275.0	410.0

Tabla 12. Datos de la placa base

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	3	201
	En el lugar de montaje	En ángulo	5	328
			8	924

Tabla 13.Cordones de soldadura en el anclaje

Placas y pernos				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	350x350x12	11.54
			Total	11.54
B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	4	Ø 16 - L = 348	2.20
			Total	2.20

Tabla 14. Placa y pernos de anclaje

8.7.2.2 Soldadura

La soldadura se realiza entre los dos perfiles que compone la estructura. En la parte superior del pilar (HE 240 B) se montará una chapa de 240x240 sobre la que se asentará la viga carrilera (IPE 300). Además, el perfil de esta última se verá reforzado por dos rigidizadores a cada lado de su alma.

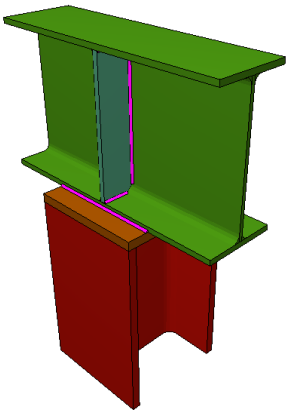


Ilustración 30. Soldadura de la viga carrilera con el pilar

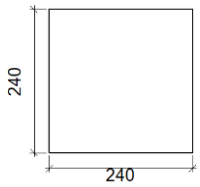
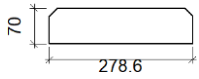
Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal		240	240	18	S275	275.0	410.0
Rigidizador		278.6	70	10	S275	275.0	410.0

Tabla 15. Elementos complementarios en la unión de perfiles

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En el lugar de montaje	En ángulo	3	1914
			6	220

Tabla 16. Características de los cordones de soldadura

El documento Planos indica detalladamente como se tienen que realizar tanto la unión entre las vigas como el anclaje.

8.7.3 Cimentación

Se construyen 6 zapatas de hormigón, una para cada uno de los pilares del conjunto de la estructura. Las 6 zapatas son exactamente iguales, con el fin de homogeneizar criterios de construcción. Estarán formadas por hormigón en masa (HM-30), de control estadístico. Cada una de las zapatas será cuadrada con 100 cm de ancho por 35 cm de canto, necesitando 2,10 m^3 de hormigón para la totalidad de la cimentación.

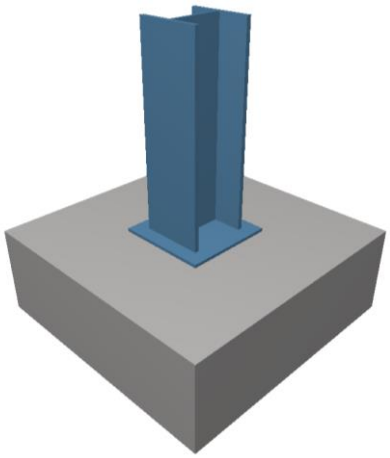


Ilustración 31. Zapata

8.8 Otros elementos

El presente apartado responde a la descripción de los elementos restantes que se deben incorporar al puente grúa para su correcto funcionamiento. No se ha realizado un estudio, diseño o selección en catálogo de estos componentes en Anexos, ya que el cálculo de parte de ellos no revierte ningún tipo de interés académico y los demás exceden a los objetivos y alcance prefijados en el proyecto.

8.8.1 Sensores

Como se ha explicado en párrafos anteriores, es de vital importancia la colocación de finales de carrera en los límites de movimiento de los elementos móviles. En especial en la viga carrilera para evitar que el puente grúa impacte contra los topes de los extremos y por el mismo motivo en la viga principal.

También se requieren limitadores de carga. Aun así, el puente grúa va a trabajar constantemente con la misma carga y su aumento sería una situación excepcional.

Por su parte, es la garra la que debe incorporar un mayor número de sensores. En el diseño mecánico se ha contemplado el hecho de permitir unas zonas de paso para el cableado y alimentación de sensores y demás elementos eléctricos de la garra (hueco en el perfil de los brazos).

La siguiente imagen ayuda a entender los sensores que se deben incorporar:

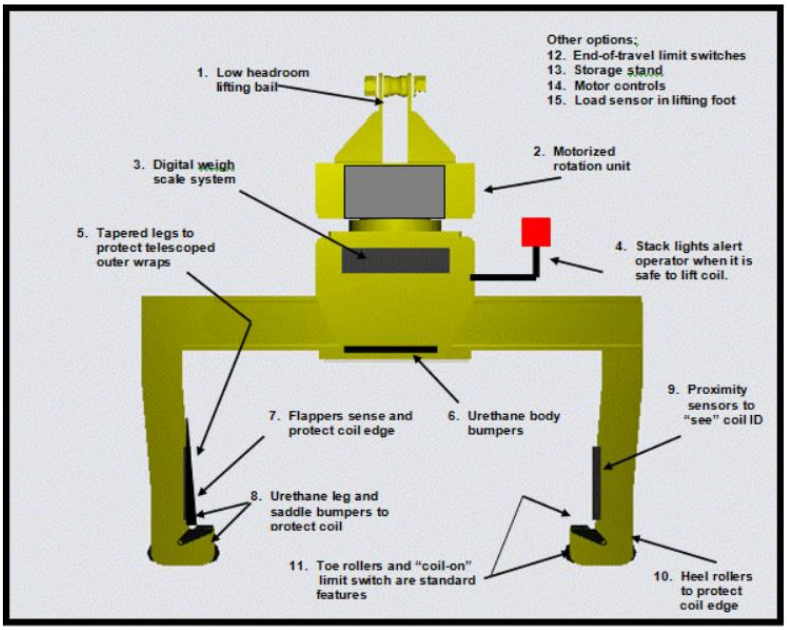


Ilustración 32. Sensores en la garra

En primer lugar, el número (3), muy relacionado con el limitador de carga, es básicamente un display que muestra en pantalla el valor del pesaje de la carga que está soportando la garra.

El número (9) es un sensor muy útil que se instala en cada uno de los brazos de la garra. Mide la proximidad a la bobina lo cual es beneficioso en casos en los que la bobina puede encontrarse unos centímetros desalojada de su lugar. De esta forma el brazo no choca contra ella, enviando la señal al PLC para que este detenga antes al servomotor. Relacionado con este sensor está el

número (5), que se trata de un paragolpes que amortigua el golpe y protege tanto al sensor como a la bobina para no dañarla. Los números (8) y (11) tienen una función similar.

El número (10) quizá es el sensor más importante, ya que emite la señal de que la carga se encuentra sobre los brazos. Es de gran importancia ya que el motor de elevación debe funcionar a distinta velocidad en función de si la garra está cargada o descargada, y el instante en que se produce ese cambio lo detecta este sensor.

8.8.2 Encoders

El control del posicionamiento de la garra y los brazos de la misma se va a controlar y monitorizar continuamente por medio de los encoders, que se acoplarán al eje de los motores, a excepción del de la viga testera derecha, del cual se prescinde pues con el de la izquierda es suficiente. El resto de los motores contarán todos con un encoder.

Se escoge un encoder absoluto, ya que presenta ventajas en esta aplicación frente al encoder incremental. El principio de funcionamiento de un encoder absoluto se basa en que un disco que gira, con zonas transparentes y opacas interrumpe un haz de luz captado por fotorreceptores, luego éstos transforman los impulsos luminosos en impulsos eléctricos, los cuales son tratados y transmitidos por la electrónica de salida.

Respecto a los encoders incrementales, los encoders absolutos muestran importantes diferencias desde el punto de vista funcional. Mientras en los encoders incrementales la posición está determinada por el cómputo del número de impulsos con respecto a la marca de cero, en los encoders absolutos la posición queda determinada mediante la lectura del código de salida (código Gray, que se trata de un código binario), el cual es único para cada una de las posiciones dentro de la vuelta. Por consiguiente, los encoders absolutos no pierden la posición real cuando se corta la alimentación (incluso en el caso de desplazamientos), hasta un nuevo encendido (gracias a una codificación directa en el disco), la posición está actualizada y disponible sin tener que efectuar, como en el caso de los encoders incrementales la búsqueda del punto de cero. Este es el principal punto por el que se guía a seleccionar este encoder.

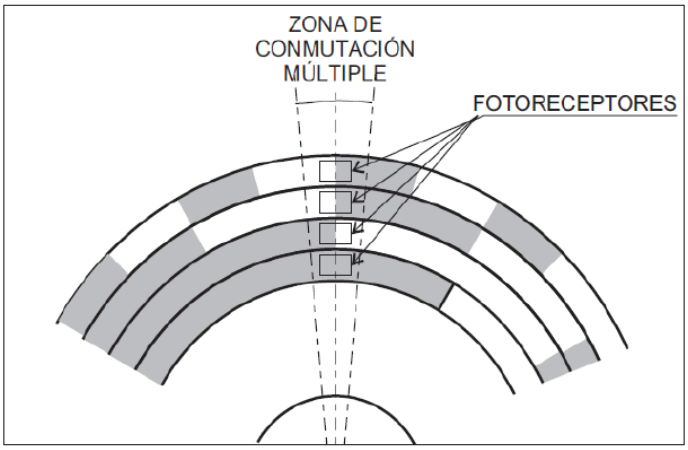


Ilustración 33. Encoder absoluto

En la programación en PLC, los encoders se han sustituido por un contador ascendente y descendente que recibe pulsos de un sensor que simula los impulsos eléctricos de estos encoders.

8.8.3 Pulsadores

Como se especifica en el Pliego de condiciones en el apartado de Funcionamiento, el PG se dirige por medio de pulsadores. Se dispone de 4 pulsadores, asociados a cada una de las secuencias que debe realizar el PG:

- Llevar bobina desde el área de INPUT A hasta la zona de almacenado de bobinas.
- Llevar bobina desde el área de INPUT B hasta la zona de almacenado de bobinas.
- Llevar bobina desde el área de almacenado de bobinas hasta la zona de OUTPUT A.
- Llevar bobina desde el área de almacenado de bobinas hasta la zona de OUTPUT B.

Pulsando uno de ellos mientras el selector está activado, comenzará la secuencia marcada. Hasta la finalización de ésta, aunque se presione otro pulsador no tendrá efecto alguno, a menos que sea la seta de emergencia.

En ese último párrafo se han mencionado los otros dos tipos de pulsadores. Por un lado, la seta de emergencia, que se diferencia de los anteriores en que se puede enclavar y no desaparece la alarma hasta su desenclavamiento. Por el otro lado, está el selector de ON y OFF, que se reduce a un interruptor con el que se puede apagar o encender la máquina en última instancia.

Ilustración 34. Seta de emergencia

8.8.4 Cámaras de visión artificial

Son los elementos clave para el funcionamiento autónomo del puente grúa. La cámara o cámaras de visión artificial deben controlar todo el almacén de bobinas, de manera que sean capaces de reconocer en todo momento qué lugares están ocupados por una bobina y qué lugares quedan libres. Para ello, cada posición de bobina se transcribe a unas coordenadas (x, y, z) que determinan su posición en el espacio.

A partir de los datos entregados por la cámara de visión artificial al controlador, éste deberá decidir qué bobina coge del almacén para ser procesada o en qué lugar coloca una bobina para su almacenamiento. Una vez un espacio quede libre u ocupado, la cámara de visión artificial debe enviar la nueva información al controlador.

Ilustración 35. Cámara de visión artificial

8.8.5 Cableado

El PG en su totalidad es movido por elementos eléctricos (motores). Además, gran número de sensores están involucrados dentro de la aplicación. Para ello se debe proveer de energía eléctrica a la instalación, mediante cables ya sean de potencia o de control hasta los actuadores.

Se presenta una dificultad añadida ya que el movimiento en el espacio de la garra dificulta el trazado de cableado por la instalación. Por ello, como es habitual en estas instalaciones, se propone distribuir los cables sobre la viga carrilera y la viga principal en dos estructuras con raíles sobre las que se colocan los cables y van desplazándose simulando "un acordeón" para adaptarse a las posiciones de la garra.

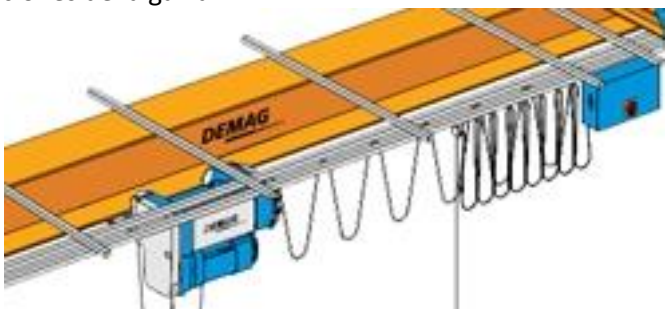


Ilustración 36. Disposición del cableado sobre la viga principal

Deberá existir, además, un pequeño armario eléctrico sobre la viga principal ya sea acoplado al carro polipasto o sobre la estructura de despliegue de cables.

8.8.6 Elementos electrónicos

8.8.6.1 PLC

El sistema del PG está basado en un controlador basado en PLC. El PLC del que disponemos es un autómata CP1E-N40DR-A de Omron. Este autómata dispone de un módulo de pulsos (MD211), es decir, un módulo específico de control de movimiento por pulsos que será el encargado de dar las órdenes adecuadas a motores y frenos para que se efectúen los movimientos oportunos.

El PLC de tipo modular que trabaja con el software CX-PROGRAMMER, incorpora una serie de módulos de expansión, quedando la estructura del autómata totalmente configurable a las necesidades del sistema. Estos módulos son la CPU, el módulo de E/S de pulsos, el módulo de E digitales, el módulo de S.

8.8.6.2 PC

Es el encargado de ejecutar el sistema de supervisión y control y de proporcionar una interfaz gráfica para el usuario (esta posibilidad aún no se aborda).

8.8.6.3 VARIADORES FRECUENCIA

Un variador de frecuencia es un sistema para el control de la velocidad rotacional de un motor por medio del control de la frecuencia de alimentación suministrada. Permite proporcionar un arranque a los motores hasta que éstos alcanzan su velocidad nominal. Se necesitan variadores de frecuencia para el tambor de elevación, la traslación del carro y las vigas testeras.

8.8.6.4 SERVODRIVERS

Un servodrive es similar a un variador de velocidad, pero diseñado específicamente para el control de servomotores (accionamiento de los brazos). Utiliza un conversor para la tensión de entrada y un inversor para la tensión de salida (aplicada al motor). La señal de salida es definida por el circuito de control (microprocesador) correspondiente. Mediante el servodrive se trabaja en lazo cerrado (realimentación), lo que permite detectar los posibles "errores" en la actuación del motor y dar la oportuna orden de corrección de este. Esta habilidad va en concordancia con los sensores de detección de la posible descolocación de las bobinas, permitiendo una mayor flexibilidad de maniobra.

8.8.6.5 FUENTE DE ALIMENTACIÓN

Proporciona, a partir de la tensión alterna de entrada procedente de la red, las tensiones continuas de operación adecuadas para el correcto funcionamiento del autómata. Es frecuente que la propia alimentación proporcione directamente una salida auxiliar a 24 Vcc con nivel de potencia suficiente para alimentación de sensores.

8.8.6.6 MAGNETOTÉRMICO

Este dispositivo es capaz de interrumpir la corriente eléctrica del circuito de potencia cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. El dispositivo consta, por tanto, de dos partes, un electroimán y una lámina bimetálica, conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga.

Este elemento es de vital importancia para salvaguardar el funcionamiento y vida de la instalación y los motores. Es un elemento de seguridad que corta la electricidad al motor cuando éste está realizando un sobreesfuerzo, ya sea porque un carril está atascado por un objeto indeseado o la carga es mayor de la prevista.

8.8.7 Soporte base para las bobinas

Se trata de un elemento imprescindible para que las bobinas del nivel 1 se asienten en el suelo. Cada soporte consta de dos barras con la apropiada curvatura que favorezca la deposición de la bobina. Cada una de las barras se fija al suelo mediante pernos.

Se necesitan un total de 40 soportes, es decir, 80 barras.

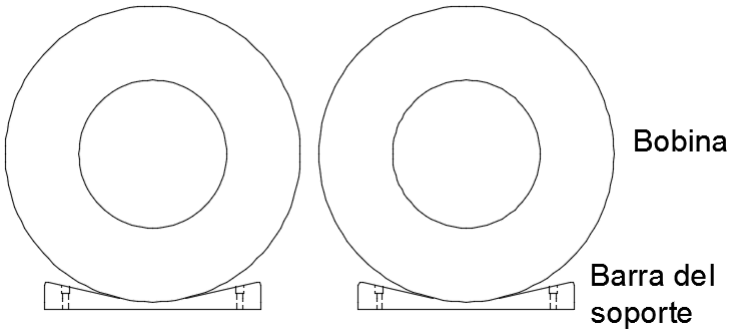


Ilustración 37. Soporte de la bobina en el suelo

8.8.8 Tope para los testeros y el carro

Como sistema último de seguridad, si existe fallo en los encoders o en los finales de carrera de las vigas carrileras y la principal, se cuenta con unos topes para que la viga principal se mantenga dentro de los raíles y no se precipite contra el suelo.

Estos topes se colocan en los extremos de las vigas carrileras, amortiguando el golpe de la viga testera y deteniendo el conjunto. Es el elemento de seguridad que retiene al PG. En el momento en que el testero golpee contra él, el motor tendría que realizar un sobreesfuerzo. Este suministro extra de potencia lo detecta el magnetotérmico, que sería en última instancia quien detendría el motor.

Ilustración 38. Tope para el carro

9 Planificación

En este apartado se muestra la planificación seguida para la construcción del puente grúa automatizado. Se realiza un diagrama de Gantt con las tareas del proyecto, determinando su duración y sus relaciones e interdependencias, obteniéndose la distribución temporal y la duración global de la obra.

Las actividades tenidas en cuenta en el programa coinciden punto por punto con las derivadas del presupuesto. Además, se han incluido otras actividades que también se deben tener en cuenta.

- Inicio de la obra (1 de agosto)
- Acopio de materiales iniciales. (3 días)
- Limpieza de terreno y movimiento de tierras. (2 días)
- Cimentaciones. (1 día)
- Montaje estructura. (5 días)
- Montaje del puente. (1 día)
- Instalación del carro polipasto. (1 día)
- Montaje de la garra. (1 día)
- Instalación eléctrica. (4 días)
- Automatización e instrumentación. (3 días)
- Pruebas de servicio. (1 día)
- Seguridad y salud. (durante todo el proyecto)
- Compras de materiales y alquileres (durante todo el proyecto)
- Fin de la obra (3 de septiembre)

La obra se inicia el día 1 de agosto y se prevé que se concluya para el día 18 de septiembre. En la obra se trabaja únicamente en días laborales. Durante este periodo de tiempo se dedican 28 días de espera a que frague el hormigón (pocos días más tarde recaerá sobre las zapatas prácticamente el peso máximo, a excepción de la bobina), un tiempo en el que la obra está paralizada.

El número de días de trabajo en obra asciende a 17. Por lo general, cada día comprenderá trabajos realizados durante 8 horas, con una media de 3 operarios trabajando simultáneamente.

Las relaciones entre tareas se definen en el diagrama de Gantt. Sin embargo, cabe señalar que el alquiler de máquinas y la compra de materiales necesarios se realizan durante todo el proyecto según determina el MRP correspondiente. Del mismo modo, las consideraciones en materia de seguridad y salud se deben aplicar durante la totalidad el proyecto, y de la manera que se indica en el Pliego de Condiciones.

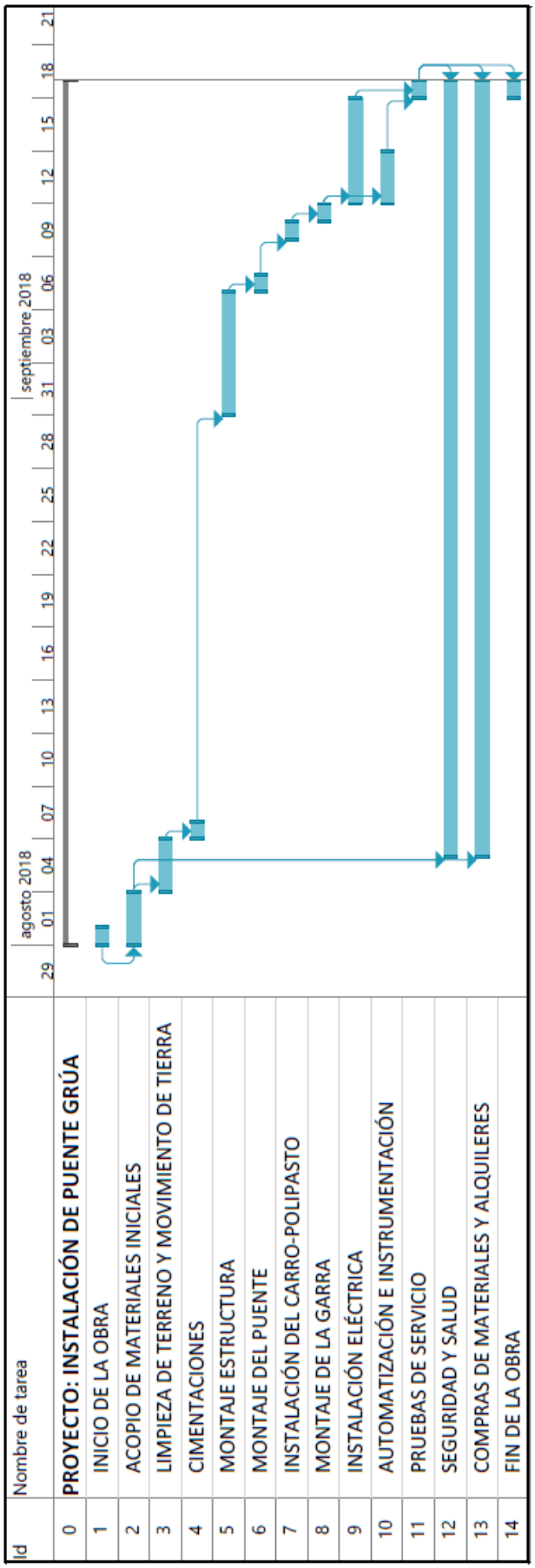


Ilustración 39. Diagrama de Gantt de la puesta en obra

10 Mejora y optimización

10.1 Garra con rotación motorizada

El actual diseño permite el transporte de las bobinas a cualquier punto en el espacio del área de trabajo del puente grúa. Sin embargo, existe una limitación que se debe corregir. Se trata del giro de la garra. La garra por fabricar es apta para recoger bobinas únicamente cuando su eje es paralelo a la viga principal, lo cual implica:

- Imprecisiones en la disposición del almacenado de bobinas.
- Menores posibilidades de estructurar el almacén.
- Pérdida de tiempos en la colocación de bobinas.

Las ventajas de incluir un sistema que confiera giro a la garra poseen incontestables beneficios. Consecuentemente, en el actual diseño se ha dotado de un espacio extra que permitiría incluir este sistema. Aun así, podría ser necesario modificar el bloque principal de la garra o incluso el elemento polea-gancho que porta la garra.

Este sistema brinda la oportunidad de colocar con extrema precisión la bobina. Para ello, se propone un sistema de cremallera-piñón (espacio reducido), o bien mediante un motor de engranajes con un piñón integral que impulsa un rodamiento engranado que se monta en compresión. Un embrague de sobrecarga protegería la rotación de la unidad de la carga de choque. También existe la opción de adquirir este sistema a un fabricante.

Ilustración 40. Ejemplo de garra motorizada con giro

10.2 Mejoras en la automatización y la visión artificial

En este ámbito se puede progresar en gran medida. El diseño de la máquina en su conjunto se ha basado en los cálculos mecánicos, dejando un amplio abanico de mejora dentro de la electrónica.

En este sentido, el puente grúa se diseña favoreciendo un funcionamiento semi-automático (pulsadores). Se debe pretender que desde una pantalla se seleccione o un funcionamiento automático donde gracias a determinados sensores la máquina funcione autónomamente o un funcionamiento manual.

Además, se debe profundizar en la programación mediante la cual la garra discrimina a qué coordenada (entendiendo por coordenada el punto asociado a una bobina o espacio que puede ocupar) debe dirigirse para enganchar una bobina o para depositarla. Y esta ambigüedad ocurre en los tres ejes espaciales.

A modo de solución se presenta un sistema de cámaras de visión artificial que determinen qué espacios están ocupados por bobinas y que espacios no. Estas cámaras entregarán estos datos al procesador. Los algoritmos con los que se diseñe deberán conseguir que la garra escoja qué bobina llevar a procesar en función del nivel que ocupa, es decir, no debería coger una bobina del primer nivel existiendo una bobina sobre ella en el segundo nivel. Además, debería establecer un sistema de preferencia sobre las bobinas que lleven más tiempo almacenadas, para favorecer su salida a producción y dejando que las nuevas permanezcan almacenadas por un tiempo.

Las cámaras instaladas también pueden ser una fuente de ventajas y mejoras para la producción general de la fábrica. Además de su misión de guiado del puente grúa, también se les puede otorgar un papel de chequeo de bobinas, es decir, que sirvan para la detección de fallos o imperfecciones en las bobinas.

Del mismo modo, pueden servir de ayuda al sistema de gestión de la empresa, y que controlen y contabilicen el número de bobinas que se procesan a diario, lo que puede ser útil para el inventario de materiales.

11 Conclusiones

El objetivo principal para el que ha sido diseñado el puente grúa se ha cumplido con creces. Actualmente, el espacio dedicado al almacén de bobinas supone la ocupación de 288 m^2. Con la implantación de la máquina este espacio se reduce a 55 m^2, es decir, una reducción de más del 80%.

Las vigas de acero, tanto las de la estructura como las del puente grúa se encuentran sobredimensionadas a resistencia (ver Anexos), presentando un índice bajo de aprovechamiento. Son sin embargo las restricciones a flecha y a pandeo las que propician el aumento del tamaño de estos perfiles. La obligatoriedad de automatizar el PG y un funcionamiento suave y uniforme del mismo provocan que estas limitaciones sean tan restrictivas (flecha de L/1000) y que en consecuencia el tamaño de perfil aumente para cumplir con los estados límite.

Se debe hacer mención a las necesidades de potencia requerida para cada uno de los motores, en las que influyen diferentes variables como el peso de masa a desplazar, la aceleración, revoluciones, etc. El servo desplaza una masa muy pequeña (48,28 kg) sujeta a fuerzas de rozamiento. La potencia que suministrar tendrá que ser de al menos 37 W. Por el contrario, el motor del tambor tiene que elevar una masa de 1500 kg haciendo frente a la fuerza de la gravedad. Para tal fin, su potencia no debe ser menor de 770 W. La potencia de los motores de los testeros y el carro es inferior (transmiten la potencia las ruedas), de valor 313 W y 280 W respectivamente.

El presupuesto de ejecución de la obra se ajusta a lo esperado, ascendiendo a 37.754,37 euros. Este coste es asequible para la empresa, reportándose todos los beneficios mencionados. Los elementos electrónicos, así como el carro-polipasto son los elementos que tienen un coste mayor. Por otro lado, piezas de la garra deben ser fabricadas exprofeso para la aplicación, con el coste añadido que conlleva. En definitiva, los materiales suponen un 67 % del coste de la obra.

<u>Conclusiones personales de la elaboración del proyecto:</u>

La redacción de este proyecto ha permitido asentar los conocimientos adquiridos durante el grado en un amplio abanico de campos. A lo largo del trabajo, se incide en aspectos relativos a gran parte de asignaturas del grado de Ing. Mecánica (cálculo de máquinas, resistencia de materiales, control y automatización, matemática, producción, mantenimiento, dibujo técnico, proyectos, materiales, etc.). Además, también se abordan nuevos retos, como la selección de motores. Será beneficioso de cara a la futura carrera profesional.

Posiblemente lo más interesante del proyecto sea la conexión que debe haber entre los diferentes campos de la ingeniería y las consideraciones que se deben tener en cuenta para que todo el conjunto “engrane” como uno solo. También es enriquecedor el proceso de rediseño y optimización de ciertas piezas o sistemas.

Es evidente que para elaborar proyectos de este tipo es imprescindible un manejo rápido y profesional del software ingenieril, para ahorrar coste y tiempos. No obstante, en la redacción de este proyecto se han realizado cálculos a mano a modo de ejercicio educativo.

La estructuración de contenido se ha hecho sintetizando la información disponible y aportando la información técnica más relevante. Aun así, existen conceptos o elementos que se encuentran desarrollados con un mayor grado de detalle.

ANEXOS

Puente grúa automatizado

803-G

Autor: Manuel Marín Uyarra

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

1 Cálculos iniciales

1.1 Cálculo de la producción

Inicialmente, se calcula la producción de la fábrica, tanto en condiciones normales de producción como en sus máximos. Esto dará una idea del espacio necesario para la nueva área que se destinará al almacenamiento de las bobinas. Con ello se realizará una redistribución lo más lógica posible de las máquinas que componen la fábrica, teniendo siempre en cuenta que el número de máquinas se pretende incrementar. Concretamente:

- Máquinas de complejo: de 14 a 16
- Máquinas de tapa rosca: de 4 a 6
- Máquinas de embutición: de 12 a 14
- Decoradoras: de 20 a 24

A continuación, se muestra la tabla que agrupa la velocidad de trabajo de cada máquina (cápsulas por minuto), la media de peso de las cápsulas que expulsan, así como el porcentaje de perdida de material en cada una de ellas. En la tabla no se incluye la máquina decoradora, ya que carece de sentido incluirla para estimar la producción.

	Peso (gr)	Producción normal	Producción máxima	% pérdida
Caps. complejo	10	80	90	8
Cáps. Tapa rosca	7	100	110	6
Cáps. embutidas	5	70	80	18

Tabla 1. Datos de producción

La producción se va a cuantificar acorde a los gramos de aluminio que se emplean en cada una de las secciones de máquinas tanto diaria como semanalmente, así como en función de la velocidad de producción. Se realiza de este modo con la intención de valorar más tarde el aprovisionamiento y almacenado de bobinas en función de los kilos que se empleen diariamente.

También se van a emplear dos coeficientes que reducen la producción. Por un lado, se tiene el coeficiente reductor que hace referencia a posibles mantenimientos correctivos que estén recibiendo las máquinas, así como posibles máquinas inutilizadas porque se encuentran en taller por puesta a punto implantándoles nuevos accesorios. Este coeficiente se adjudicará únicamente a la producción normal. El segundo coeficiente hace referencia a paradas de la máquina por reprogramación por cambios de pedido, cambio de la banda de aluminio porque se ha agotado, mantenimientos preventivos indispensables… Este coeficiente afecta tanto a la producción máxima como a la normal.

- Coeficiente de mantenimiento correctivo: 0,9

- Coeficiente de recambios y mantenimiento preventivo: 0,8

Cabe decir que la fábrica está en funcionamiento las 24 horas del día de lunes a viernes.

Producción normal diaria:

$$P_{complejo_{DIARIO}} = 10\left(\frac{gr}{cps}\right) \cdot 16(máq) \cdot 80\left(\frac{cps}{m}\right) \cdot 1440\left(\frac{m}{día}\right) \cdot 1{,}08 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}8 = 14{,}33\ T$$

$$P_{tapa\_rosca_{DIARIO}} = 7\left(\frac{gr}{cps}\right) \cdot 6(máq) \cdot 100\left(\frac{cps}{m}\right) \cdot 1440\left(\frac{m}{día}\right) \cdot 1{,}06 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}8 = 4{,}62\ T$$

$$P_{embitición_{DIARIO}} = 5\left(\frac{gr}{cps}\right) \cdot 14(máq) \cdot 70\left(\frac{cps}{m}\right) \cdot 1440\left(\frac{m}{día}\right) \cdot 1{,}18 \cdot 0{,}9 \cdot 0{,}8 = 5{,}83\ T$$

$$P_{TOTAL_{DIARIO}} = 24{,}8\ T$$

Producción normal semanal:

$$P_{complejo_{SEMANAL}} = 71{,}65\ T$$

$$P_{tapa\_rosca_{SEMANAL}} = 23{,}1\ T$$

$$P_{embitición_{SEMANAL}} = 29{,}15\ T$$

$$P_{TOTAL_{SEMANAL}} = 124\ T$$

Producción máxima diaria:

$$P_{complejo_{DIARIO}} = 10\left(\frac{gr}{cps}\right) \cdot 16(máq) \cdot 90\left(\frac{cps}{m}\right) \cdot 1440\left(\frac{m}{día}\right) \cdot 1{,}08 \cdot 0{,}8 = 17{,}92\ T$$

$$P_{tapa\_rosca_{DIARIO}} = 7\left(\frac{gr}{cps}\right) \cdot 6(máq) \cdot 110\left(\frac{cps}{m}\right) \cdot 1440\left(\frac{m}{día}\right) \cdot 1{,}06 \cdot 0{,}8 = 5{,}64\ T$$

$$P_{embitición_{DIARIO}} = 5\left(\frac{gr}{cps}\right) \cdot 14(máq) \cdot 80\left(\frac{cps}{m}\right) \cdot 1440\left(\frac{m}{día}\right) \cdot 1{,}18 \cdot 0{,}8 = 7{,}61\ T$$

$$P_{TOTAL_{DIARIO}} = 31{,}17\ T$$

Producción máxima semanal:

$$P_{complejo_{SEMANAL}} = 69{,}6\ T$$

$$P_{tapa\_rosca_{SEMANAL}} = 28{,}2\ T$$

$$P_{embitición_{SEMANAL}} = 38{,}05\ T$$

$$P_{TOTAL_{SEMANAL}} = 156\ T$$

1.2 Bobinas procesadas al día

Para realizar los cálculos se toma una media de las toneladas máxima y normal de aluminio procesadas al día; 27 toneladas, lo que equivale a 27 bobinas diarias (el peso de cada bobina es de 1000 kg).

1.3 Tamaño de las bobinas

MUYAR S.A. trabaja con un solo tipo de bobina de aluminio.

Aluminio con manganeso

Norma E.N.	Estado de suministro	Carga de Rotura min Rm N /mm	Limite elástico min Rp 0,2N/mm	Alargamiento A 50 %	Limite de fatiga N / mm	Dureza Brinell HB HB	Peso Específico g / cm	Aplicaciones
3003	0	95	35	15	100	28	2,73	Edificación, revestimiento de vehículos, calderería en general, utensilios de cocina, depósitos de combustible, disipadores de calor .
	H-12 / H-22	120	80	3	110	37	2,73	
	H-14 / H-24	145	115	2	130	45	2,73	
	H-18 / H-28	190	160	1	150	59	2,73	
3105	0	100	40	15	100	29	2,73	Calderería en general, calorifugado, envases para la alimentación, cápsulas y tapones bebidas, edificaron en general .
	H-12 / H-22	130	105	3	-	41	2,73	
	H-14 / H-24	150	120	2	150	47	2,73	
	H-18 / H-28	195	170	1	-	61	2,73	

Ilustración 1. Datos técnicos de las bobinas

Se trata de las bobinas de aluminio de la serie 3105, ideales para cápsulas de bebidas. Dentro de las cuatro opciones, se tiene la de estado de suministro H-14 7 H-24, que indica que se trata de aluminio hipertemplado (endurecido por deformación) y en este caso de temple semiduro.

En cuanto a las dimensiones físicas de la bobina:

- Ancho: 1000 mm
- Diámetro exterior: 800 mm
- Diámetro interior: 400 mm

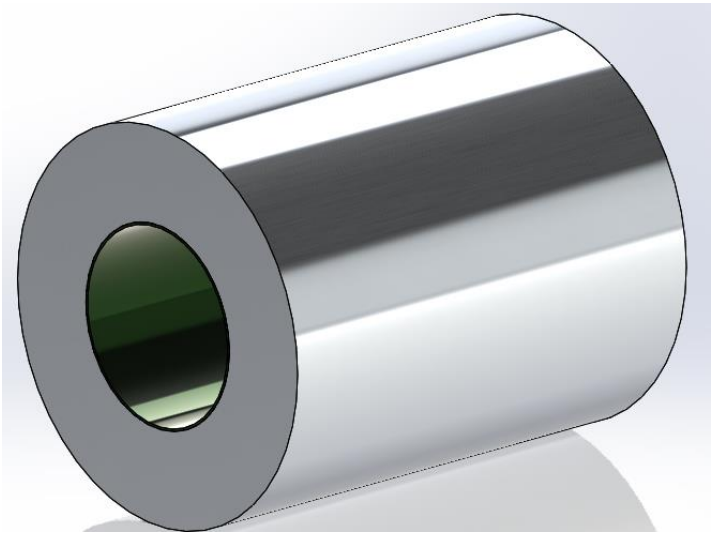


Ilustración 2. Bobina de aluminio

1.4 Número de bobinas que componen cada lote de aprovisionamiento

Entre 50 y 60, lo que implica una reposición cada dos días.

Cada aprovisionamiento, según se haya solicitado por medio del MRP oportuno, surte de bobinas suficientes para el desarrollo industrial durante dos días. Pero la anticipación es un valor esencial en la industria, y no se puede permitir una parada en la producción por motivo de un fallo en el aprovisionamiento. Por tanto, se diseñará la zona de almacenamiento de bobinas para que pueda albergar bobinas suficientes para el desarrollo normal de la fábrica durante 4 días.

27 bobinas x 4 días = 108 bobinas

Se necesita un espacio que pueda contener alrededor de 108 bobinas.

1.5 Cálculo del área de acción del puente grúa

1.5.1 Cálculo del ancho

Se va a disponer de 4 filas de bobinas que supondrán una luz del pórtico del puente grúa de 6,5 metros. Una anchura mayor supondría un aumento considerable de los perfiles de las vigas que soporten la carga.
Se establece una separación de medio metro entre cada fila de bobinas, así como desde las filas exteriores hasta la base de los pilares. De este modo:

4 filas x 1000 mm + 5 separaciones x 500 mm = 6500 mm = 6,5 metros

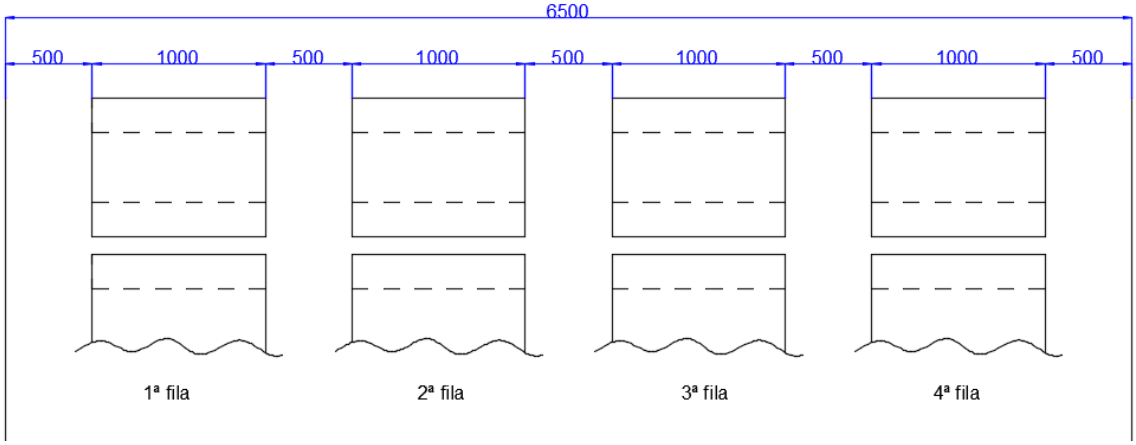


Ilustración 3. Ancho de acción del puente grúa

1.5.2 Cálculo del largo y de la cantidad de bobinas por fila

La disposición de bobinas por fila se va a realizar en tres niveles, como indica la imagen.

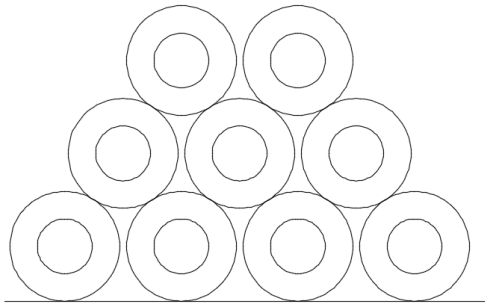


Ilustración 4. Apilamiento de bobinas (I)

Para que no se produzcan desplomes, en el suelo deben instalarse unas cuñas. Estas cuñas tienen una doble función. Servirán también para que la deposición de la bobina sea perfecta.

Para calcular el número de bobinas por fila se establece la siguiente relación matemática:

$$108 = 4 \cdot (n + (n-1) + (n-2))$$

$$108 = 4 \cdot (n + (n-1) + (n-1))$$

108, es el número de bobinas totales
4, es el número de filas
N, son la cantidad de bobinas de una fila en el primer nivel
n-1, son la cantidad de bobinas de una fila en el segundo nivel
n-2, son la cantidad de bobinas de una fila en el tercer nivel

$$108 = 4 \cdot (3n-3) \Rightarrow 27 = 3n - 3 \Rightarrow 30 = 3n$$
$$n = 10$$

El número total de bobinas por fila en el primer nivel será de 10.

Entre cada bobina del primer nivel se dejará una separación de 5 centímetros. Así se tendrá un ancho de la siguiente longitud:

10 bobinas x 800 mm + 9 separaciones x 50 mm = 8450 mm = 8,45 metros

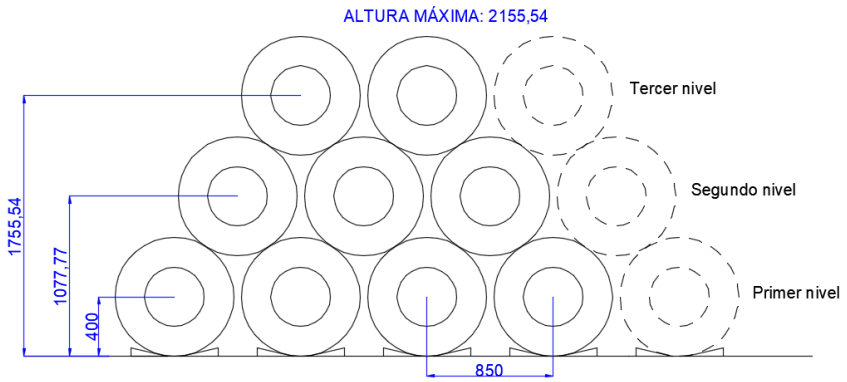


Ilustración 5. Apilamiento de bobinas (II)

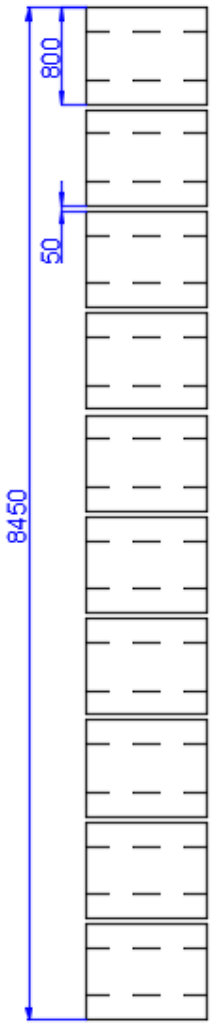


Ilustración 6. Fila de bobinas

Inicialmente, se establece una anchura de 400 mm de ancho de los pilares que soportarán el puente grúa. Este espacio aparece reflejado en la imagen de color verde, ya que no es una medida definitiva y está sujeta al resultado de los cálculos estructurales (se espera que el ancho del perfil sea significativamente menor).

Se destinan dos cuadrángulos con el borde pintado en rojo para depositar las bobinas procedentes del porche de descargado en el recinto del puente grúa, para que después este las almacene en su ubicación correspondiente. En la imagen viene descrito como INPUT A e INPUT B.

Del mismo modo, se destinan otras dos zonas, OUTPUT A y OUTPUT B, dentro de la zona operativa del puente grúa. Las bobinas que se vayan a procesar serán extraídas de una de las cuatro filas de almacenado y depositadas en este lugar. Una de las ventajas del puente grúa reside en este punto.

La zona de descarga OUTPUT A corresponde a la máquina de formación de complejo, es decir, el puente grúa posiciona la bobina directamente sobre la máquina para su tratamiento. Exactamente lo mismo ocurre para OUTPUT B, enclave del cortador 1. De esta forma, una parte de la máquina de formación de complejo y de la cortadora 1 se ubicará bajo el área dominada por el puente grúa, con el fin de optimizar trayectos y ganar en eficiencia.

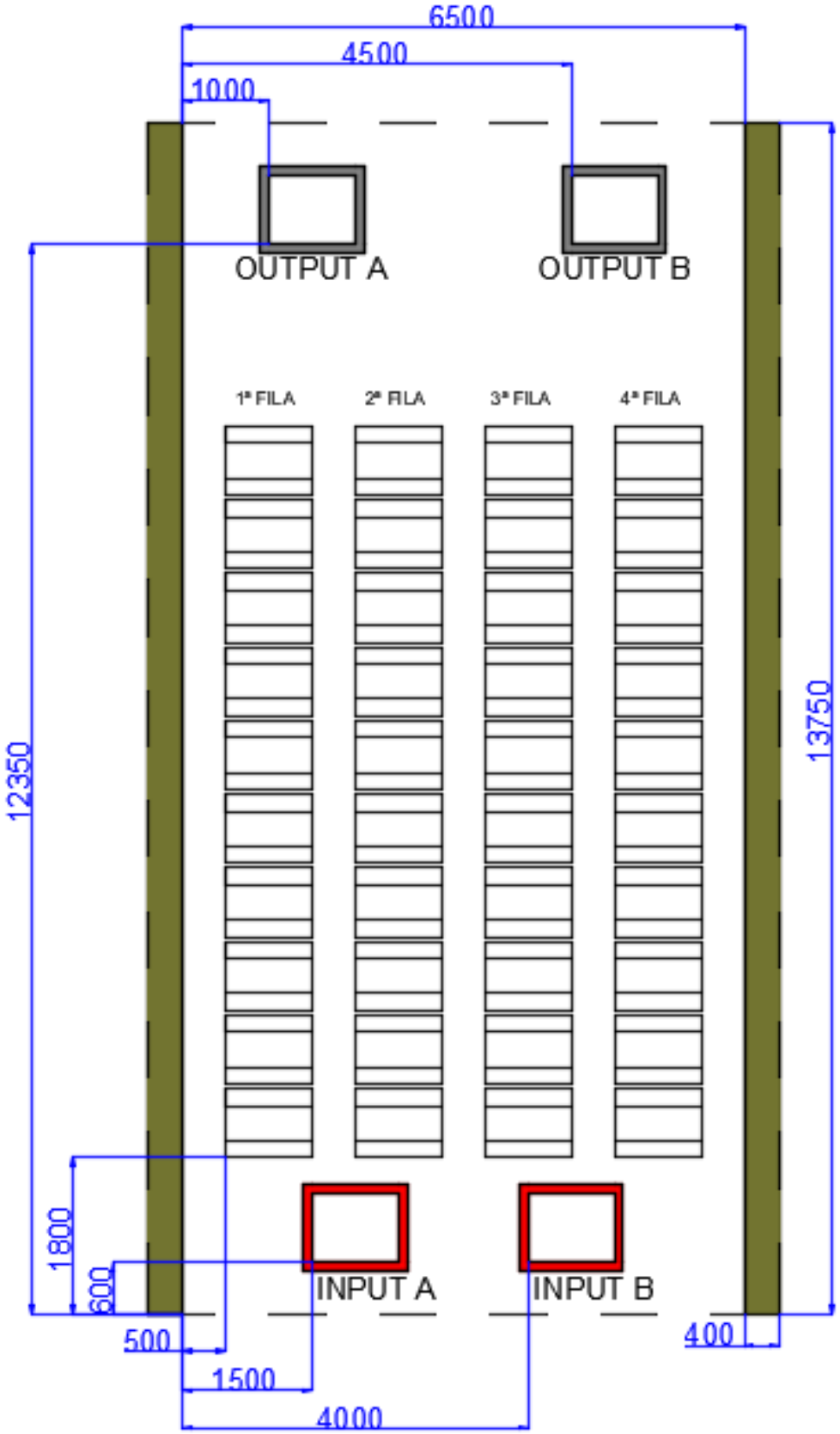


Ilustración 7. Dimensiones del puente grúa provisional

Dimensiones del puente grúa

- Largo: 13,75 m
- Ancho: de 6,5 a 7,3 m

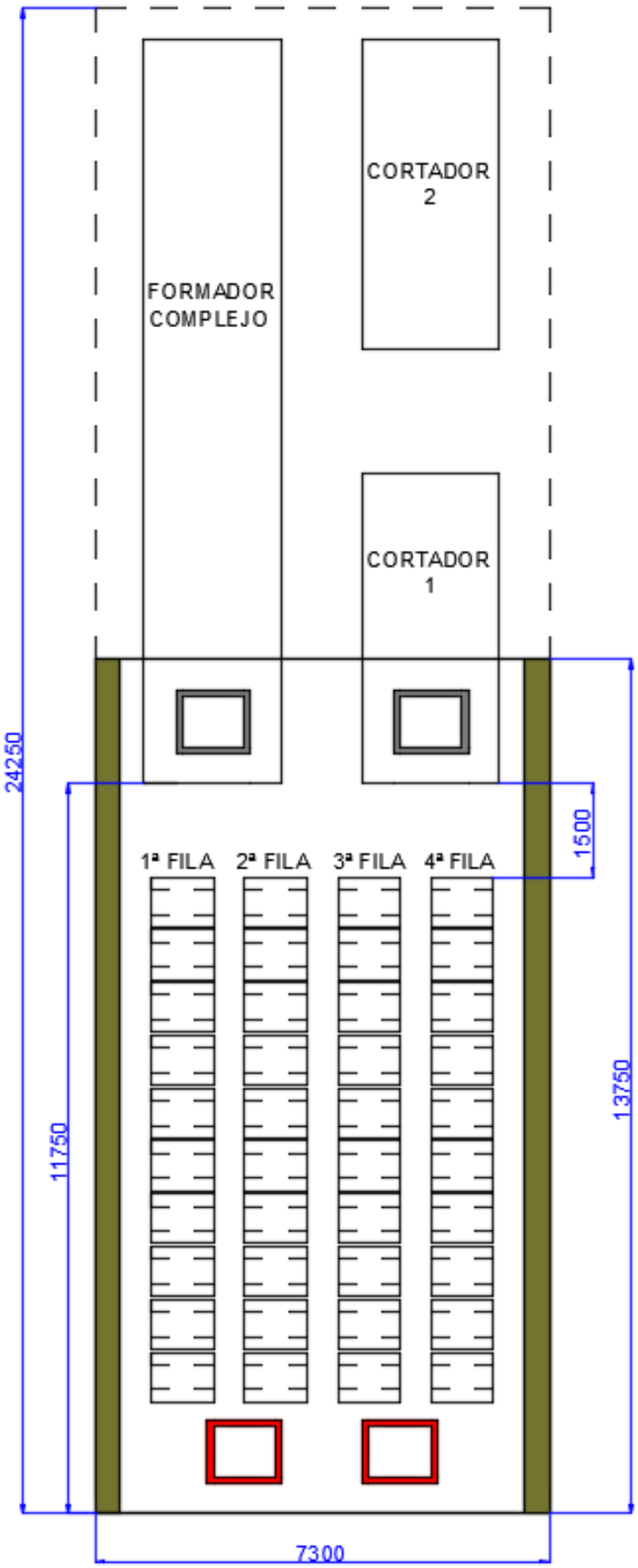


Ilustración 8. Puente grúa unido a máquinas provisional

2 Diseño mecánico de la garra portabobinas

Se inicia el diseño del puente grúa con el elemento de agarre de las bobinas, ya que, a raíz de las dimensiones y el peso de éste, se podrán dimensionar el resto de los elementos del sistema.

Se recuerdan las dimensiones y peso de las bobinas a transportar:

- Peso 1000 kg
- Ancho: 1000 mm
- Diámetro exterior: 800 mm
- Diámetro interior: 400 mm

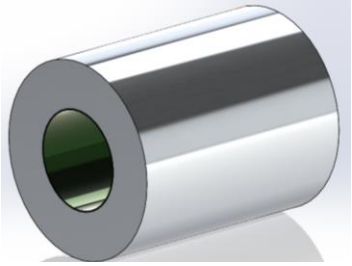


Ilustración 9. Bobina

A este elemento en su conjunto se le llama garra y es de vital importancia, pues de ella depende un correcto transporte de las bobinas. El conjunto de la garra deberá garantizar un diseño suficientemente seguro tanto a tensiones como a deformaciones bajo cualquier tipo de situación.

La garra constará de un bloque principal al que se le acoplarán dos brazos que deslizarán por su interior, de manera que la garra pueda abrir y cerrar con la suficiente amplitud para recoger y depositar la bobina. Además, constará de un mecanismo que permita el movimiento de los brazos sobre unas guías del bloque principal. Del mismo modo, se deberá prever un sistema de enclavamiento, tanto para los casos en los que se porte bobina, como aquellos en los que la garra actúa de vacío.

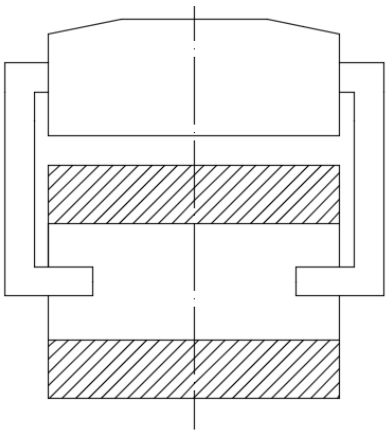


Ilustración 10. Boceto garra portabobinas

2.1 Medidas de los brazos y el bloque principal

El bloque principal tendrá un ancho de 1000 mm. Altura y profundidad dependerán del tamaño de los brazos, así como del mecanismo elegido para el desplazamiento de los mismos.

Se tratará de que los brazos hagan el mayor contacto posible con el bloque principal mediante las guías o deslizaderas. En principio se estudiará un brazo hueco cuadrado de acero de 100x100 mm. El hecho de que sea hueco permitirá la introducción de cableado para la instalación de instrumentación y sensores sobre el mismo. Las medidas mínimas a cumplir son las que figuran en Ilustración 11 e Ilustración 12.

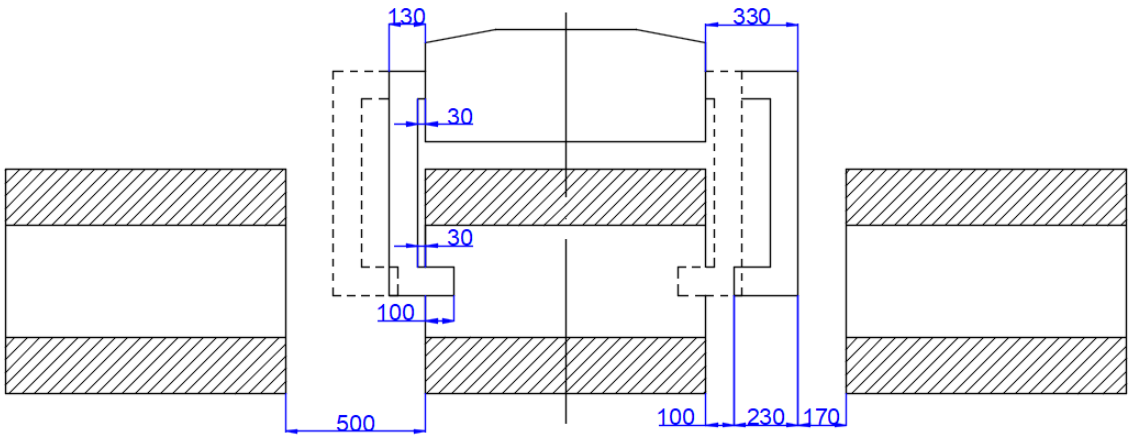


Ilustración 11. Dimensiones portabbobinas(I)

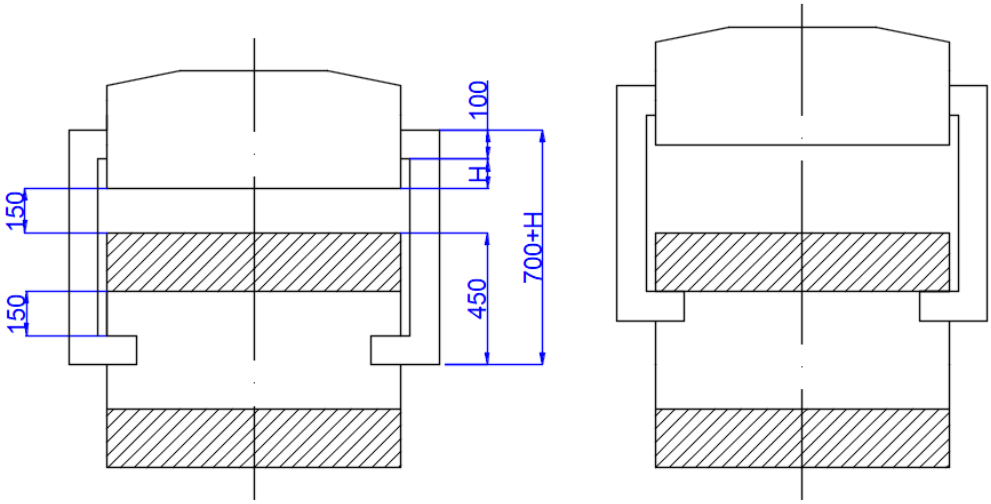


Ilustración 12. Dimensiones portabbobinas(II)

Se tomará H = 100 mm (espacio del bloque queda por debajo la deslizadera), cifra que difícilmente haya que aumentar.

Los brazos deberán cerrar cuando su extremo inferior se localice a la altura del eje central de la bobina, dejando un espacio de 150 mm entre la bobina y el bloque principal.

2.2 Alternativas para el mecanismo de accionamiento de los brazos

A continuación, se describen, estudian y escoge una de las tres alternativas que se plantean para dar solución al movimiento lineal de los brazos.

- Cilindros neumáticos
- Biela manivela
- Piñón cremallera

2.2.1 Cilindros neumáticos (A)

Una alternativa al diseño del mecanismo de los brazos de la garra es su impulsión mediante energía neumática. Dos cilindros de doble efecto amarrados al bloque principal moverán los brazos linealmente. Se consigue el desplazamiento deseado (200 mm) y un buen contacto entre la garra y los brazos. No es necesario un sistema de enclavamiento, los cilindros de doble efecto son suficientes para mantener la carga estática. El problema reside en la dificultad de llevar aire a presión a los actuadores.

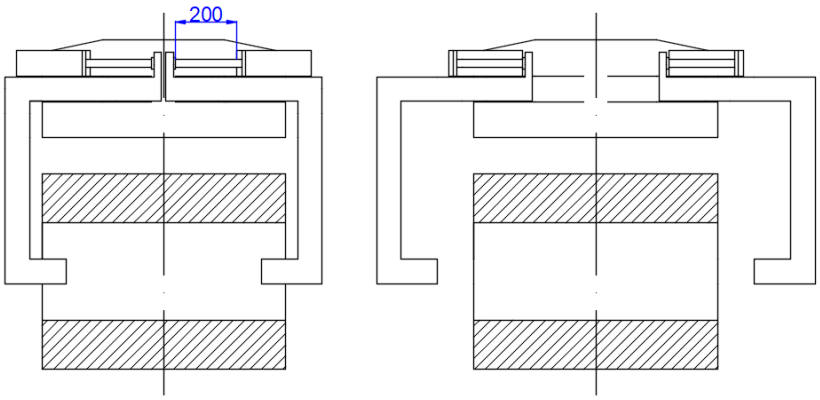


Ilustración 13. Mecanismo de cilindros neumáticos

Se debe instalar un elemento regulador de velocidad en las salidas de las dos cámaras del cilindro de doble efecto. La posición de los antirretornos, hacen que el aire que "quiere escapar" lo haga más lentamente.

Se produce una sacudida en el arranque hasta que se equilibran las fuerzas; y después se mejora la regulación de velocidad independientemente de la carga que deba arrastrar el cilindro. En este sentido este sistema también presenta deficiencias.

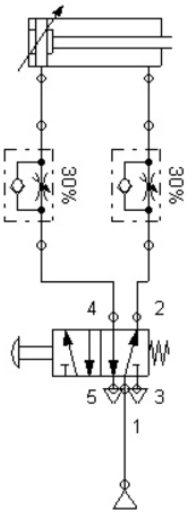


Ilustración 14. Sistema de válvula y reguladores de velocidad

2.2.2 Biela manivela (B)

Otra opción es el empleo de un disco central que actúa de manivela con un eje central accionado por un motor eléctrico. Cada biela se conecta a un eje excéntrico del disco por un extremo, y su brazo por el otro extremo. Se necesita un solo motor para mover el sistema y no es necesario sistema de enclavamiento. Por contra el sistema es asimétrico y se necesitará un gran par para mover la carga al mismo tiempo que el eje del disco central deberá girar a extremadamente bajas revoluciones por minuto.

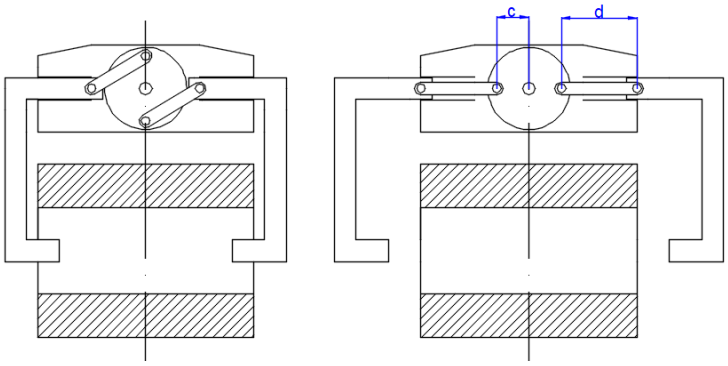


Ilustración 15. Mecanismo de biela-manivela

La medida del radio de la manivela (c), debe ser como mínimo de 200. Por su parte, la biela (d), debe ser como hipotenusa, mayor que c.

$$d \geq \sqrt{c^2 + c^2} = \sqrt{200^2 + 200^2} = 282{,}84\ mm$$

En caso de adoptar d = 283 mm, la opción sería viable. c + d = 483 mm. Restarían 500-483=17 mm sobre los que apoyaría el brazo en el momento de mayor apertura. Aun así, esto podría provocar tensiones excesivas sobre la deslizadera.

2.2.3 Piñón cremallera (C)

La tercera alternativa es un sistema de piñón-cremallera.

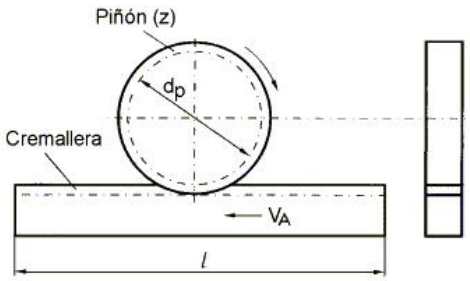


Ilustración 16. Piñón-cremallera

Un motor hace rotar un piñón. Éste actúa solidariamente a una cremallera que va acoplada al brazo, de tal forma que se produce el avance rectilíneo uniforme del brazo. El conjunto constaría de dos motores, dos piñones y dos cremalleras.

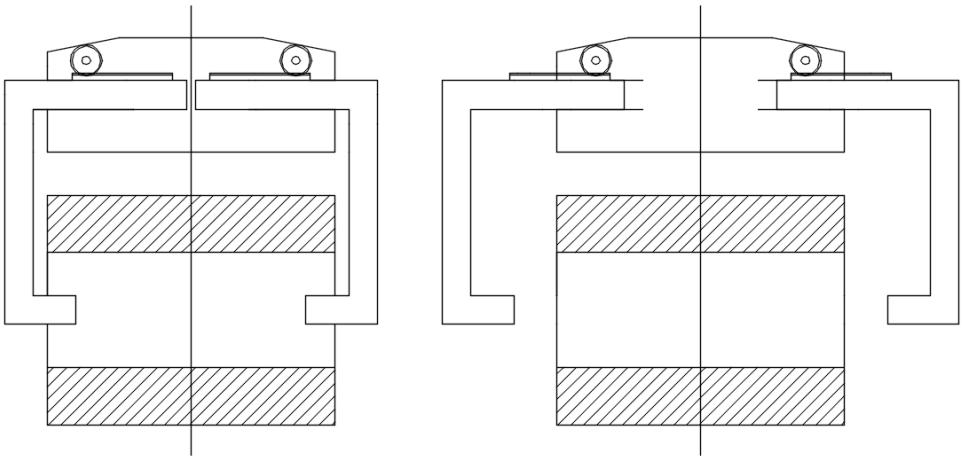


Ilustración 17. Mecanismo de piñón-cremallera

Este sistema es simétrico y consigue el desplazamiento oportuno (200 mm). Tampoco es necesario un sistema de enclavamiento, ya que es el freno del servomotor que impulsa el brazo el que detiene de cualquier movimiento al mismo.

La energía consumida por esta opción es eléctrica, notablemente más fácil de comunicar con la garra que la neumática. El movimiento de salida es moderado y constante (ventaja aportada por el servomotor). Frente a la biela manivela, esta alternativa requiere de menor par para hacer mover el brazo, lo que implica menor gasto energético. Al mismo tiempo las revoluciones del eje son mayores, lo que redunda en un mejor funcionamiento del motor. Además, este sistema permitirá al brazo un mayor contacto con la deslizadera.

2.2.4 Alternativa escogida

La opción elegida es la C o piñón cremallera. Es sensiblemente mejor en todos los aspectos frente a las otras dos alternativas. Es un sistema simple, robusto, funcional y económico. Estará constituido por un bloque principal con perfil en forma de c. El lado abierto servirá para la colocación de un contrapeso que actuará de carcasa al mismo tiempo. Cuatro deslizaderas irán insertadas en el bloque principal, sobre las que deslizarán los dos brazos. Cada brazo llevará acoplada una cremallera, conducida por el engranaje correspondiente. Éste irá fijo a un eje. El eje se montará sobre dos cojinetes que a su vez irán montados sobre el bloque principal. Para dotar de movimiento a dichos ejes se instalarán dos servomotores unidos a su reductor correspondiente.

Las principales piezas que constituyen la garra y sobre las que es necesario realizar los cálculos son:

- Brazo (2). Diseñado para fabricar por mecanizado.
- Deslizadera (4). Diseñado para fabricar por mecanizado.
- Cremallera (2). Elemento comercial.
- Piñón (2). Elemento comercial.
- Eje (2). Diseñado para fabricar por mecanizado.
- Rodamientos (4). Elemento comercial.
- Reductor (2). Elemento comercial.
- Servomotor (2). Elemento comercial.
- Bloque principal (1). Diseñado para fabricar por mecanizado.
- Carcasa o contrapeso (1). Diseñado para fabricar por mecanizado.

2.3 Diseño de los brazos de la garra

El proceso de diseño de los brazos de la garra requiere del uso de programas de simulación estructural. Para calcular esta pieza, se van a utilizar los programas CYPE y ANSYS (metodología de elementos finitos). Se pretende realizar un primer predimensionamietno con CYPE, para simular más tarde y con mayor precision en ANSYS. El objetivo es alcanzar el menor volumen de acero destinado a la fabricación de la pieza, siendo esta funcional y cumpliendo con los requisitos de resistencia y flecha límites.

Las dimensiones de perfil que permiten un agarre adecuado de la bobina son las siguientes.

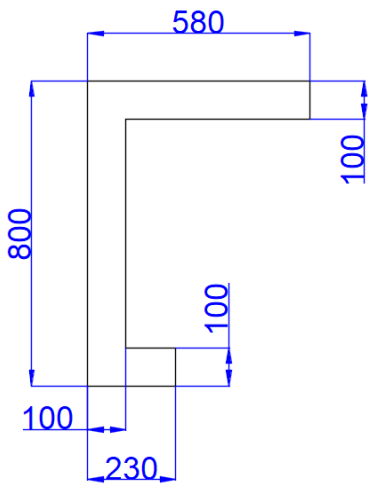


Ilustración 18. Medidas del brazo

Se iniciará el estudio con un perfil hueco de 100 milímetros, y se buscará reducir hasta llegar a la situación más óptima. Cabe decir, que el espesor de cada una de las paredes de la sección cuadrada deberá ser como mínimo de 20 milímetros, pues en un costado irá insertada la cremallera y otros dos serán mecanizados.

El estudio de este elmento se reliza en la posición de carga (brazos cerrados), es decir, en el momento en que la garra porta la bobina. La carga que soportan los brazos es de 1000 Kg. Por tanto corresponde aguantar un peso de 500 Kg a cada brazo. Para la implementación de esta carga se va a relizar una simplificación en el brazo de estudio (el izquierdo) que es bastante fiel a la realizad. Esta carga actuará como una fuerza puntual en el extremo inferior derecho del brazo.

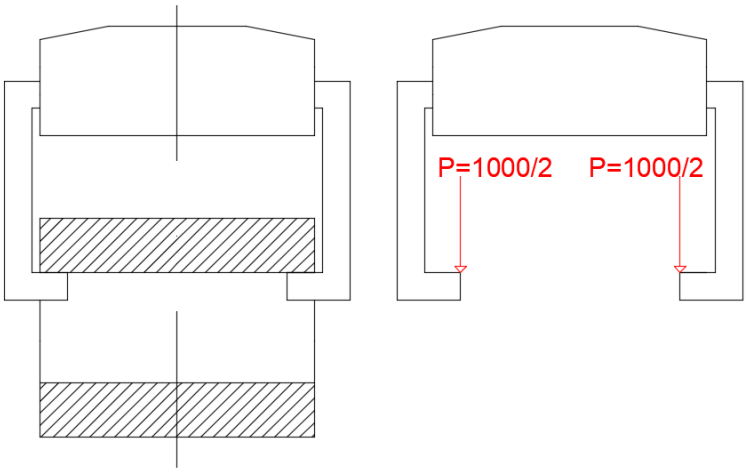


Ilustración 19. Esquema de fuerzas actuantes exteriores sobre los brazos

En cuanto a las restricciones de movimiento, en los cálculos manuales y en CYPE se coloca un empotramietno en el punto en el que el brazo contacta con el piñón (a 220 mm del extremo del brazo). En este punto, el brazo no se puede deslizar en horizontal debido al freno del motor. Verticalmente también se ve impedido por las dos deslizaderas. Esta simplificación no se ajusta del todo a la realidad, ya que las deslizaderas contendrán al brazo 90 centímetros más en la dirección y.

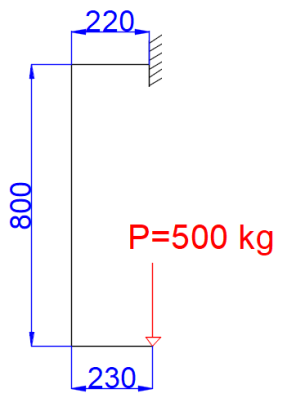


Ilustración 20, Fuerzas y restricciones sobre el brazo

Los 5000 Newton que actúan sobre el extremo inferior provocan en el empotramiento una fuerza vertical opuesta y un momento. Los diagramas generados son los siguientes:

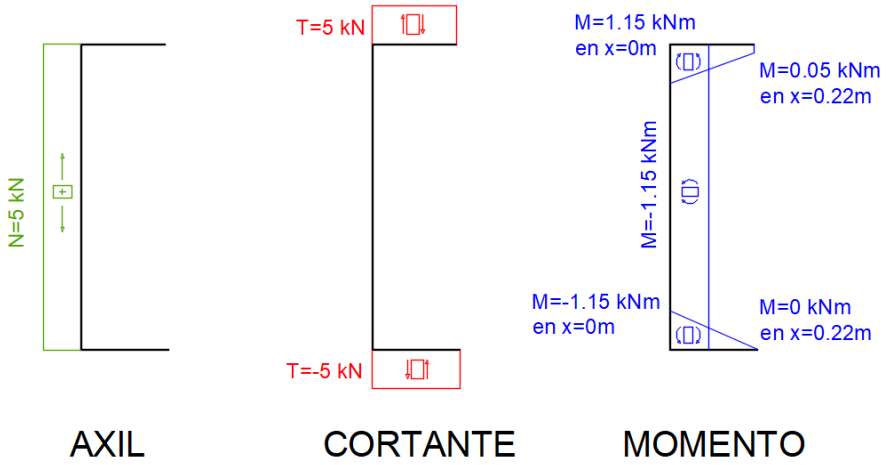


Ilustración 21. Esfuerzos en brazo

2.3.1 Predimensionamiento con el perfil cuadrado hueco de 100x100.

Se calcula con un acero S-275.

Ilustración 22. Dimensiones y características del primer diseño del brazo

Las tres barras del útil van a estar compuestas del mismo material y perfil. El mayor esfuerzo a flexión lo encontramos en la barra vertical, ya que está solicitada a un esfuerzo de tracción (5 kN) y uno momento flector (-1,15 kNm). En cuanto al cortante, el mayor valor absoluto se produce en las otras dos barras (5 kN). Se comprueba únicamente a flexión.

2.3.1.1 Comprobación a flexión compuesta

$$\frac{N}{A \cdot \frac{f_y}{\gamma}} \pm \frac{M}{W \cdot \frac{f_y}{\gamma}} \leq 1$$

γ = coeficiente de seguridad [adimensional] = 1,1
f_y = límite elástico [N/m^2]
A = área de la sección [m^2]
N = fuerza de tracción [N]
M = momento flector [Nm]
W= módulo elástico [m^3]

$$\frac{5000}{53{,}38 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{275000000}{1{,}1}} \pm \frac{1150}{167{,}87 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{275000000}{1{,}1}} = 0{,}03 \leq 1$$

El margen de mejora es sustancial.

2.3.1.2 Comprobacion a desplazamiento.

El estudio del desplazamiento se realiza mediante el programa CYPE. Los resultados son los que se muestran en la imagen. El desplazamiento vertical máximo es de 0,221 mm. El desplazamiento horizontal máxio es de 0,389 mm. Para llegar a conseguir las condiciones de diseño se tiene establecido como máximo un desplazamiento vertical de 0,5 mm y uno horizontal de 1 mm. Por tanto, en cuanto a desplazamientos, se continúa en el rediseño.

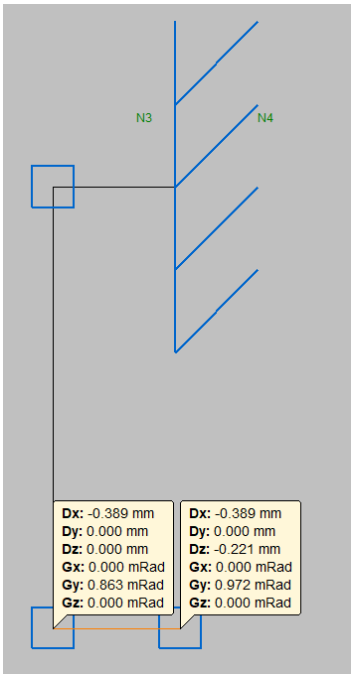


Ilustración 23. Desplazamiento de las esquinas inferiores del primer diseño del brazo

2.3.2 Predimensionamiento con el perfil cuadrado hueco de 80x80.

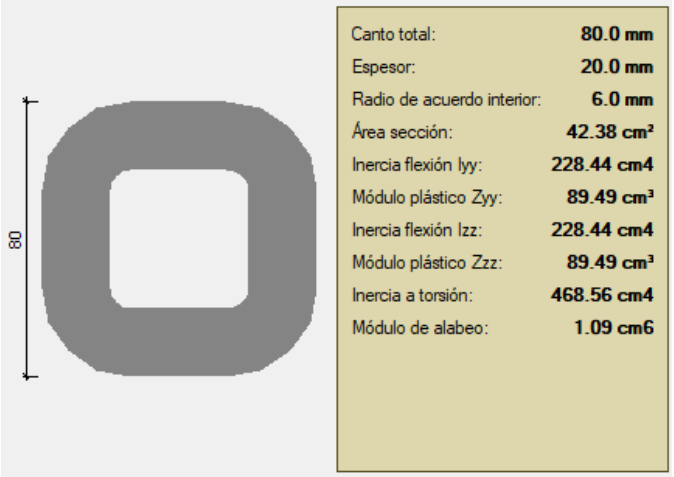


Ilustración 24. Dimensiones y características del segundo diseño del brazo

2.3.2.1 Comprobación a flexión compuesta

$$\frac{5000}{42{,}38 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{275000000}{1{,}1}} \pm \frac{1150}{69{,}49 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{275000000}{1{,}1}} = 0{,}07 \leq 1$$

La nueva sección continúa soportando con creces los esfuerzos a flexión.

2.3.2.2 Comprobacion a desplazamiento.

En cuanto al desplazamiento, se alcanzan valores relativamente cercanos a los límite. 0,431 mm de desplazamiento vertical y 0,806 mm en horizontal. Por tanto el prediseño termina con esta sección. Se simulará en ANSYS la pieza para verificar los resultados.

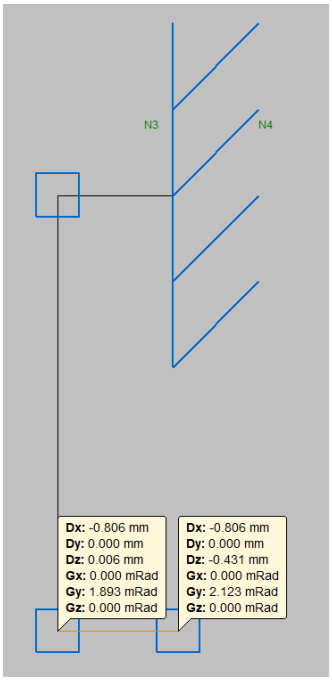


Ilustración 25. Desplazamiento de las esquinas inferiores del segundo diseño del brazo

2.4 Simulación en ANSYS

En ANSYS se realiza el estudio en detalle del perfil seleccionado. Se importa la geometría desde un archivo con extensión *.IGES. La simulación se realiza por tanto en 3D, empleando el elemento finito: 10 node 187 (SOLID 187).

Como aún se desconocen las especificaciones del acero final escogido para la fabricación de los brazos, así como el tratamiento dado, se seleccionan características estándar de un acero convencional, isotrópico y elástico:

- Módulo de elasticidad: 210000 MPa
- Coeficiente de poison: 0,3

Para establecer una denominación clara de las partes del brazo se divide la pieza en tres zonas, la de arriba (1), la vertical, de mayor esbeltez (2) y la de apoyo de la bobina (3).

En cuanto a las restricciones de movimiento, a las zonas del brazo en contacto con la deslizadera (el bloque principal de la garra) verán impedidos los movimientos en la dirección y. Por su parte, el punto en el que engrana la cremallera acoplada al brazo con el engranaje verá impedido el movimiento en el eje z. Esta simulación es significativamente más exacta que la realizada con cálculos y en CYPE, pues se ajusta fielmente a la realidad.

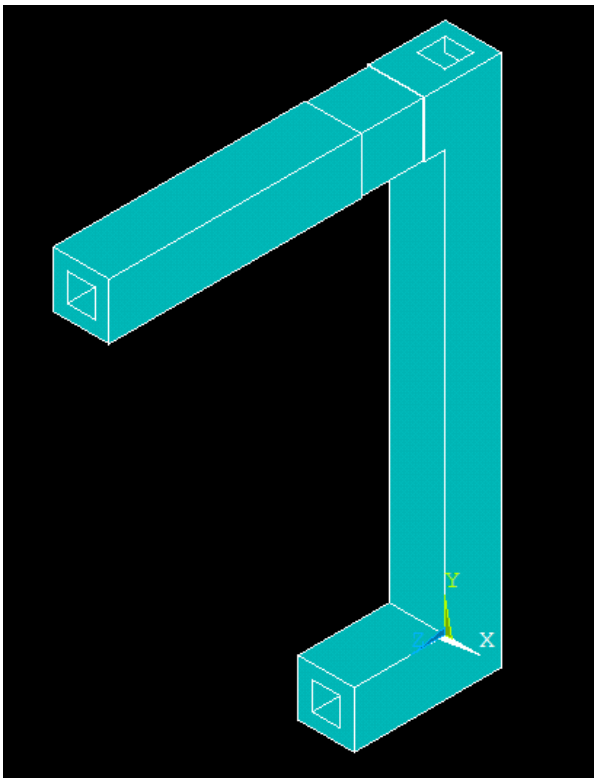


Ilustración 26. Brazo en ANSYS

El peso de la bobina se transforma en 5 fuerzas puntuales de 1000 Newton cada una, que inciden de manera homogénea en el extremo del brazo.

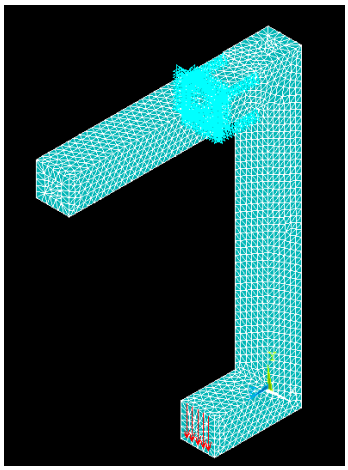


Ilustración 27. Fuerzas y restricciones de movimiento

Para verificar que no se supera la tensión de fluencia del material se determina la tensión equivalente de Von Mises en todos los puntos de la pieza.

De acuerdo a las solicitaciones de las cargas sobre el brazo, se tiene un estado plano de tensiones donde actúan las tensiones normales y cortantes: S_x, S_y y S_{xy}. Se debe cumplir la siguiente relación:

$$\frac{S_y}{CS} \geq \sqrt{S_x^2 + S_y^2 - S_x \cdot S_y + 3 \cdot S_{xy}^2}$$

S_y ; tenión de fluencia del material
CS ; coeficiente de seguridad

La raíz cuadrada corresponde al valor de la tensión de Von Mises en la pieza. Este valor lo emite ANSYS directamente. Se estipula un coeficiente de seguridad mínimo de 3, que permite un funcionamiento correcto de la garra aún en los casos en los que la carga aumente o la resistencia del material sea menor.

Dependiendo de los valores obtenidos para la tensión de fluencia, se escogerá el tipo de acero o se reducirá o ensanchará el espesor del brazo.

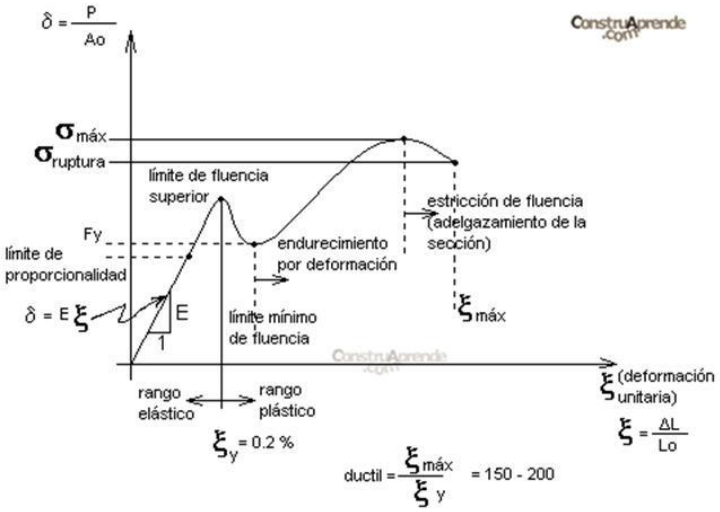


Ilustración 28. Diagrama esfuerzo-deformación del acero

El límite de fluencia estudiado corresponde con el límite de fluencia superior de la imagen. Es decir, el nivel de tensión a partir del cual el acero cambia de comportamiento (de elástico a plástico). Es indispensable que no se supere este valor, ya que la elasticidad designa la propiedad mecánica de los materiales de sufrir deformaciones reversibles cuando se encuentran sujetos a la acción de fuerzas exteriores y de recuperar la forma original si estas fuerzas exteriores se eliminan. Es el caso de la carga o bobina. Cuando este cese, el alargamiento sufrido por el brazo debe remitir.

En los desplazamientos se permitirá un desplazamiento máximo de 1 mm en el eje z y 0,5 mm en el y. Esto es así debido a la máxima precisión que requiere el proceso automatizado de agarre y descargue de bobinas.

2.4.1 Deformada

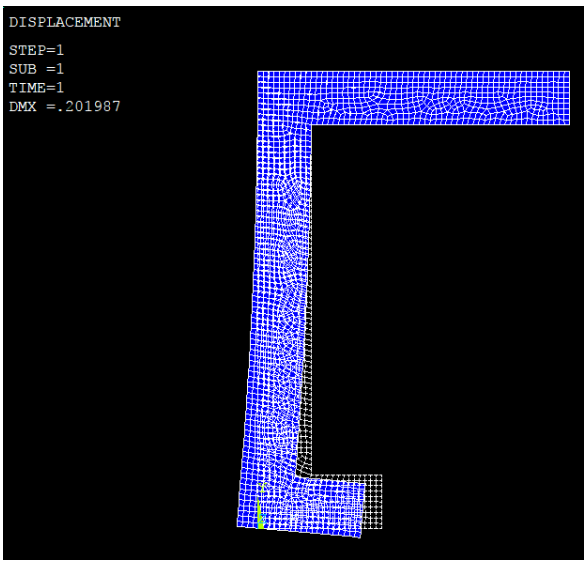


Ilustración 29. Deformada

La parte uno apenas sufre modificaciones de sus coordenadas originales, ya que se encuentra restringida bajo las propias dimensiones del bloque principal. Como se verá, las tensiones que soporta tampoco son excesivas.

La parte dos trabaja a tracción y a flexión, ya que la carga puntual le produce un momento considerable, mientras que la tres se encuentra básicamente flexionada.

2.4.2 Desplazamiento en z

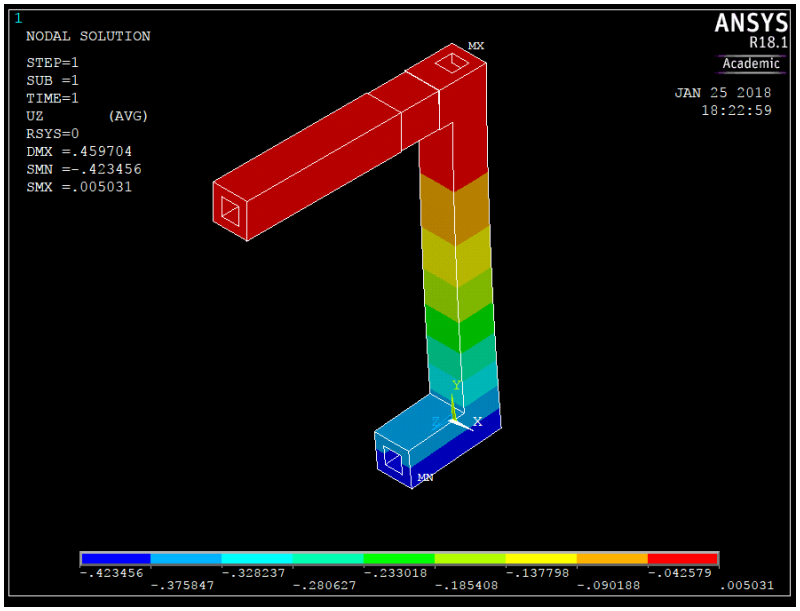


Ilustración 30. Desplazamiento en x

El mayor desplazamiento sobre el eje z se produce en la parte inferior de la pieza. El máximo valor que alcanza en valores absolutos es de 0,423 mm. Este valor es menos de la mitad que el máximo permitido (1 mm) por tanto, la pieza es viable a desplazamientos horizontales.

2.4.3 Desplazamiento en y

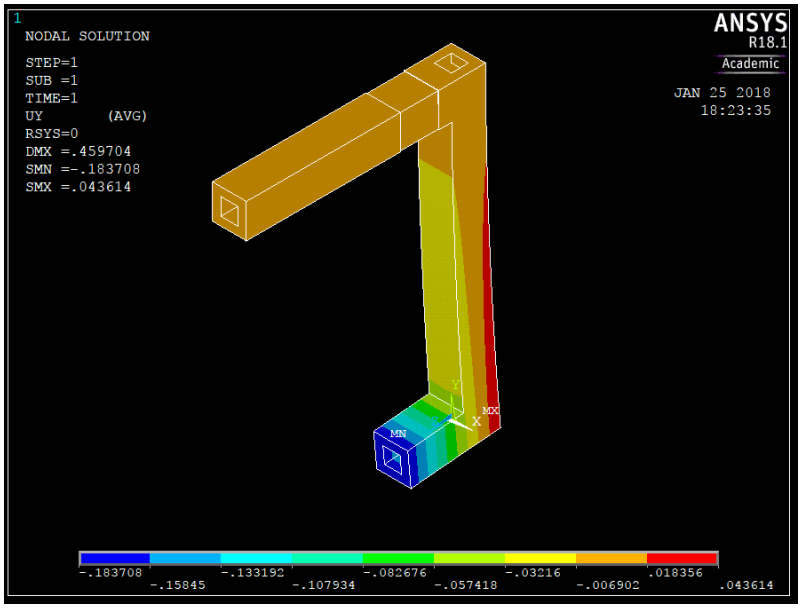


Ilustración 31. Desplazamiento en y

El mayor desplazamiento sobre el eje y se produce en la parte inferior derecha de la pieza. El máximo valor que alcanza en valores absolutos es de 0,183 mm. Este valor es inferior es menos de la mitad que el máximo permitido (0,5 mm) por tanto, la pieza es viable a desplazamientos verticales.

2.4.4 Tensión equivalente de Von Mises

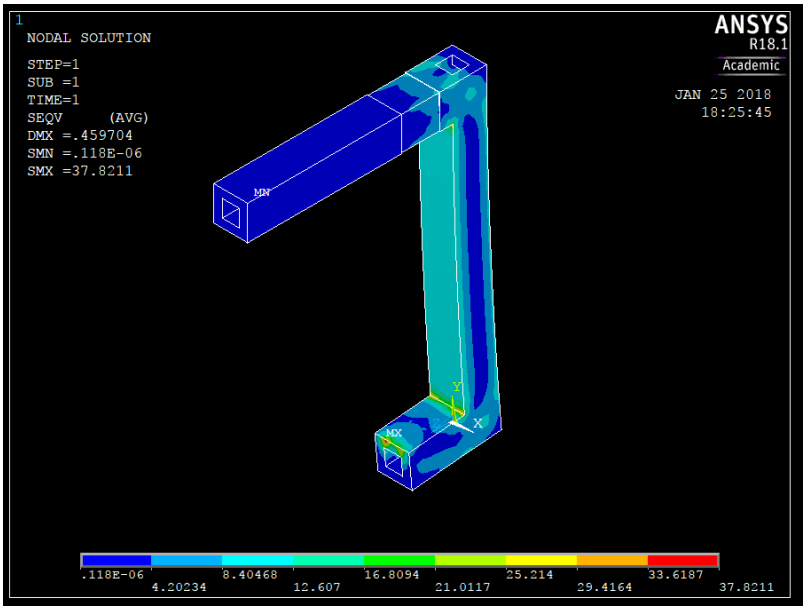


Ilustración 32. Tensión de Von Mises

Como es lógico, los mayores valores de tensión se producen en las esquinas de unión entre los tramos de la pieza y en la zona en la que actúan las cargas puntuales. El valor máximo absoluto es de 37,8 MPa = 385,45 kp/cm^2, muy alejado del límite de fluencia de cualquier acero. Cabe decir que este valor no se producirá en la aplicación real, ya que el peso de la bobina se distribuirá uniformemente y no actuará de manera puntual sobre un vértice.

La tensión de fluencia es mucho mayor a las tensiones de Von Mises que sufre la pieza. Se escoge un acero poco tratado con la intención de abaratar costes. Se trata del acero 1035 Laminado en caliente. Su tensión de fluencia es de 3800 kg/cm^2.

$$\frac{S_y}{CS} \geq \sqrt{S_x^2 + S_y^2 - S_x \cdot S_y + 3 \cdot S_{xy}^2} \Longrightarrow CS \leq \frac{3800}{385{,}45} = 9{,}8$$

A pesar de las bajas prestaciones del material, se consigue un coeficiente de seguridad de 9,8.

2.4.5 Tensiones en “y” y “z” y desplazamiento total

Se incluyen las simulaciones del desplazamiento total sufrido por la pieza, así como las tensiones en “y” y en “z”.

- Desplazamiento total

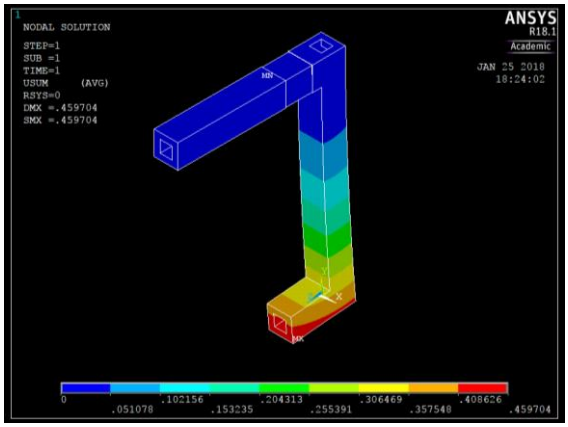


Ilustración 33. Desplazamiento total para e=800 mm

- Tensión en y

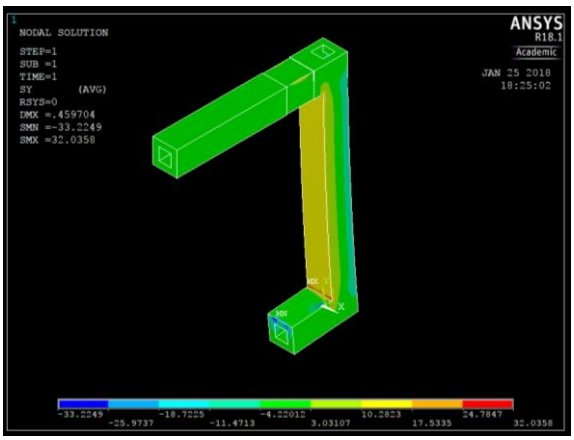


Ilustración 34. Tensión en y

- Tensión en z

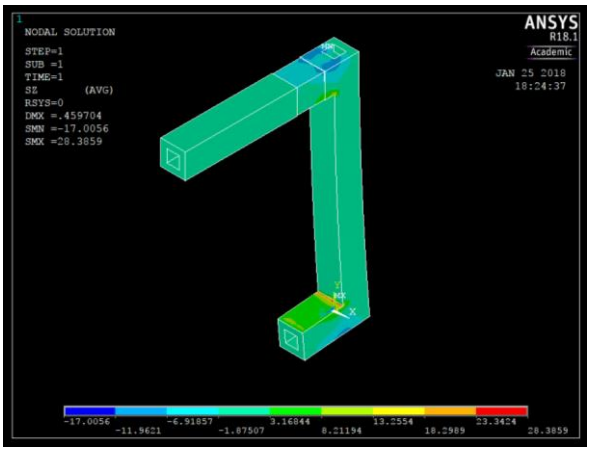


Ilustración 35. Tensión en z

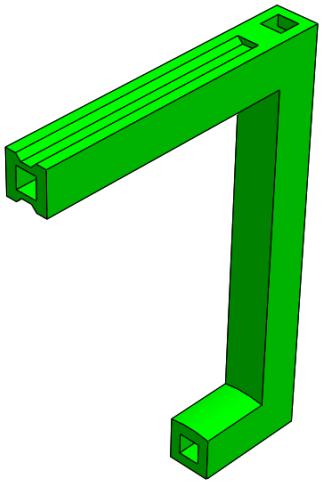


Ilustración 36. Brazo

Las características del brazo útiles para cálculos posteriores son:

- Volumen del brazo: 6150073,46 mm^3.
- Peso: 48,27 kg.
- Descenso acumulado: 0,183 mm.
- Material: Acero 1035 laminado en caliente.

2.5 Diseño de la deslizadera

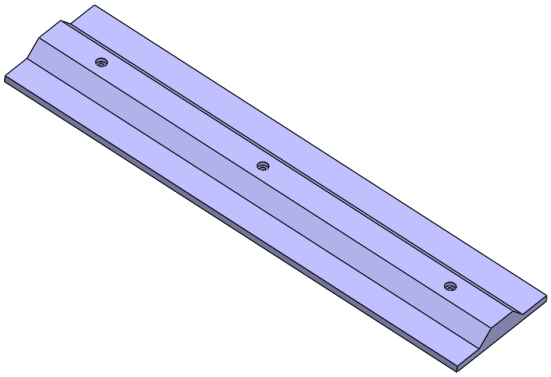


Ilustración 37. Deslizadera

El diseño de este elemento se ha realizado en función de las características del brazo. Entra en contacto con el brazo por sus caras superior e inferior, al mismo tiempo que impide los movimientos que no sean lineales.

Se trata de una especie de cola de milano, con la diferencia de que el trapecio es más ancho por el arranque que por la cabeza. Resulta absurdo el diseño de una cola de milano original, ya que el mero uso de dos deslizaderas por brazo permite el ajuste de este.

Como material se escogerá acero inoxidable al Cromo Níquel TIPO ASTM 301.

C% 0,15 Máx.
Mn% 2,00 Máx.
Si% 1,00 Máx.
Cr% 16,0018,00
Ni% 6,008,00

- Peso: 7,9 gr/cm^2

- Volumen:247701,25 mm^3

2.6 Velocidad lineal y aceleración del brazo

El desplazamiento total realizado por cada uno de los brazos es de 200 milímetros.

Este desplazamiento se realizará en tres tramos. Uno inicial que partiendo de velocidad nula acelere uniformemente hasta la velocidad máxima. En el segundo tramo se mantendrá esta velocidad máxima uniforme hasta llegar al tercer tramo, donde el brazo comience un movimiento rectilíneo uniformemente decelerado hasta llegar a la velocidad cero.

La velocidad máxima alcanzada durante el movimiento será de 50 mm/s. Esta medida viene fijada a raíz de la experiencia en otros puentes grúa. Esta velocidad máxima se alcanzará tras haber recorrido 50 mm. La desaceleración comprenderá el mismo margen de espacio y tiempo.

- <u>Tiempo total del proceso, aceleración y desaceleración</u>

El cálculo de la aceleración se realiza en el espacio en que es constante, es decir, durante dos segundos.

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}; \text{ecuación del espacio}$$

$$v(t) = v_0 + a \cdot t^2; \text{ecuación de la velocidad}$$

Transcribiendo los datos:

$$50 = 0 + 0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$50 = 0 + a \cdot t^2$$

Resolviendo se tiene:

t = 2; dos segundos de aceleración
a = 10 mm/s^2; aceleración

La duración total del desplazamiento del brazo es de:

Tramo 1 = 2 segundos
Tramo 2 = 100/50 = 2 segundos
Tramo 3 = 2 segundos
TOTAL= 6 segundos

tiempo (s)	posición (mm)
0	0
0,5	3,125
1	12,5
1,5	28,125
2	50
2,5	75
3	100
3,5	125
4	150
4,5	171,875
5	187,5
5,5	196,875
6	200

Tabla 2. Tabla espacio- tiempo

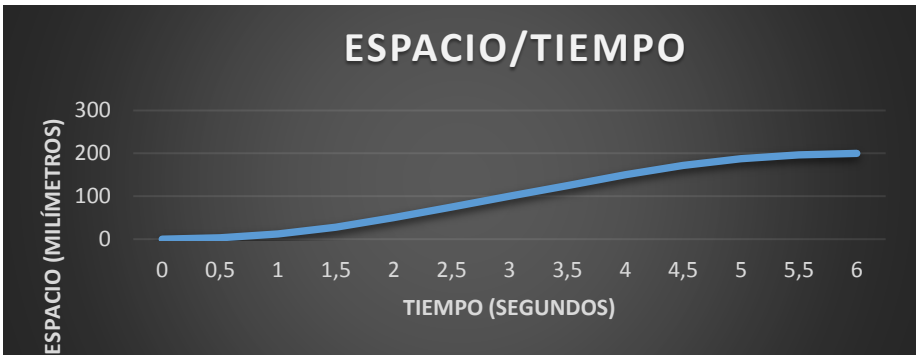


Ilustración 38. Gráfica espacio-tiempo

tiempo (s)	velocidad (mm/s)
0	0
2	50
4	50
6	0

Tabla 3. Tabla velocidad-tiempo

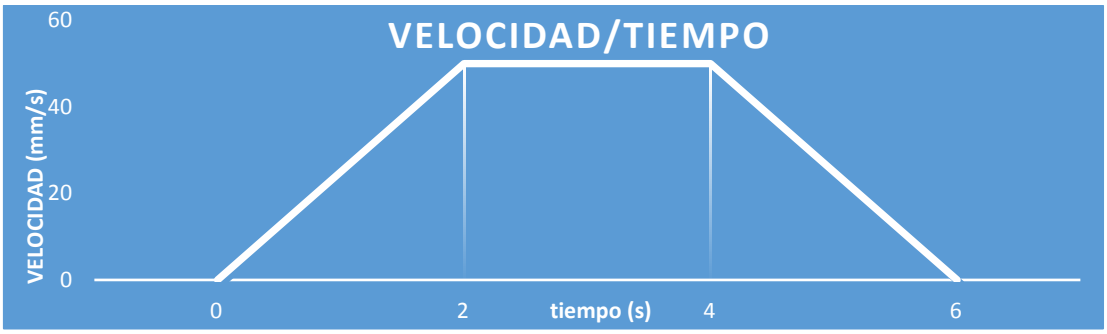


Ilustración 39. Gráfica velocidad-tiempo

2.7 Selección del piñón-cremallera

Para comenzar los cálculos del mecanismo, se selecciona un piñón cremallera de dientes rectos por prueba y error. En cálculos posteriores se determinará si es viable.

Se escoge un piñón-cremallera de dientes rectos de módulo 2 y 20º de ángulo de presión entre ambos con las siguientes especificaciones.

- Piñón A1-327-20-15-2 (extraído de TRACEPARTS, marca Michaud Chailly)

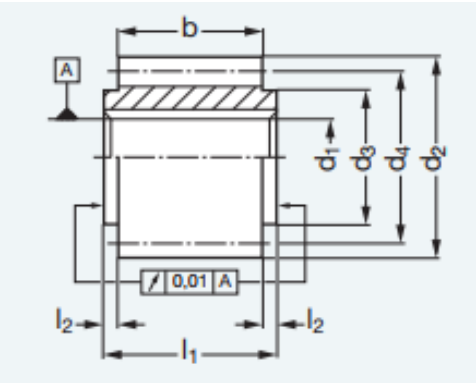


Ilustración 40. Medidas del piñón

	Nombre de dents	$d_{1\,H6}$	$d_2^{-0,1}$	d_3	d_4	$l_1^{\pm 0,05}$	l_2	Couple (Nm)
A1-327-12-10-2	12	10	28	18	24	23	1,5/1,5	30,5
A1-327-15-12-2	15	12	34	25	30	23	1,5/1,5	44,4
A1-327-15-15-2	15	15	34	25	30	23	1,5/1,5	44,4
A1-327-18-12-2	18	12	40	28	36	23	1,5/1,5	56,4
A1-327-18-15-2	18	15	40	28	36	23	1,5/1,5	56,4
A1-327-20-12-2	20	12	44	30	40	23	1,5/1,5	74,2
A1-327-20-15-2	20	15	44	30	40	23	1,5/1,5	74,2
A1-327-24-12-2	24	12	52	30	48	23	1,5/1,5	113,3
A1-327-24-15-2	24	15	52	30	48	23	1,5/1,5	113,3
A1-327-24-20-2	24	20	52	30	48	23	1,5/1,5	113,3
A1-327-25-15-2	25	15	54	35	50	23	1,5/1,5	125,2
A1-327-25-20-2	25	20	54	35	50	23	1,5/1,5	125,2
A1-327-30-15-2	30	15	64	40	60	23	1,5/1,5	151,0
A1-327-30-20-2	30	20	64	40	60	23	1,5/1,5	151,0
A1-327-30-25-2	30	25	64	40	60	23	1,5/1,5	151,0

	Nombre de dents	$d_{1\,H6}$	$d_2^{-0,1}$	d_3	d_4	$l_1^{\pm 0,05}$	l_2	Couple (Nm)
A1-327-36-15-2	36	15	76	45	72	23	1,5/1,5	188,3
A1-327-36-20-2	36	20	76	45	72	23	1,5/1,5	188,3
A1-327-36-25-2	36	25	76	45	72	23	1,5/1,5	188,3
A1-327-40-15-2	40	15	84	50	80	23	1,5/1,5	213,3
A1-327-40-20-2	40	20	84	50	80	23	1,5/1,5	213,3
A1-327-40-25-2	40	25	84	50	80	23	1,5/1,5	213,3
A1-327-48-15-2	48	15	100	50	96	23	1,5/1,5	261,2
A1-327-48-20-2	48	20	100	50	96	23	1,5/1,5	261,2
A1-327-48-25-2	48	25	100	50	96	23	1,5/1,5	261,2
A1-327-50-20-2	50	20	104	60	100	23	1,5/1,5	273,7
A1-327-50-25-2	50	25	104	60	100	23	1,5/1,5	273,7
A1-327-50-30-2	50	30	104	60	100	23	1,5/1,5	273,7
A1-327-60-20-2	60	20	124	70	120	23	1,5/1,5	337,0
A1-327-60-30-2	60	30	124	70	120	23	1,5/1,5	337,0
A1-327-60-35-2	60	35	124	70	120	23	1,5/1,5	337,0

Tabla 4. Especificaciones del piñón

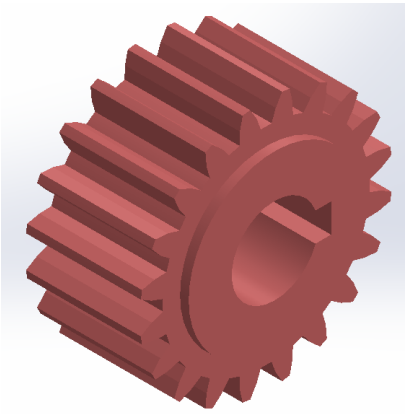


Ilustración 41. Piñón

- Volumen: 22548.19 mm^3

- Cremallera A1-57-20-20-500 (extraído de TRACEPARTS, marca Michaud Chailly)

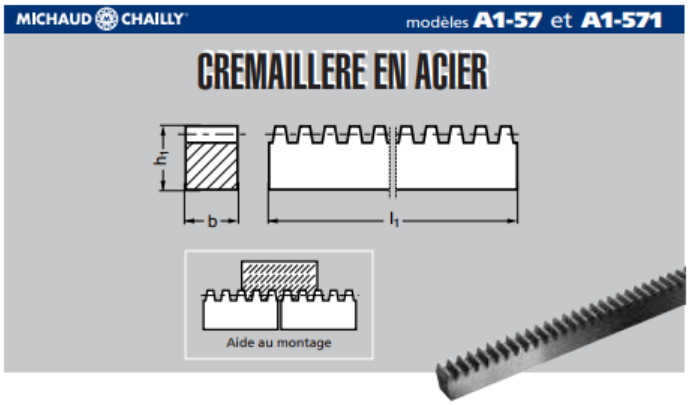


Ilustración 42. Medidas de la cremallera

		b	l_1	h_1	Cote nominale avec tolérances
	A1 - 57 - 15 - 15	15	1500	$15\ ^{0}_{-0,2}$	-
Module 2,0	A1 - 57 - 20 - 16	16	1000	$20\ ^{0}_{-0,2}$	1005 – 1
	A1 - 57 - 20 - 20	20	500	$20\ ^{0}_{-0,2}$	-
	A1 - 57 - 20 - 20	20	1000	$20\ ^{0}_{-0,2}$	1005 – 1
	A1 - 57 - 20 - 20	20	1500	$20\ ^{0}_{-0,2}$	1501 – 1
	A1 - 57 - 20 - 20	20	2000	$20\ ^{0}_{-0,2}$	2004 – 1,5

Tabla 5. Especificaciones de la cremallera

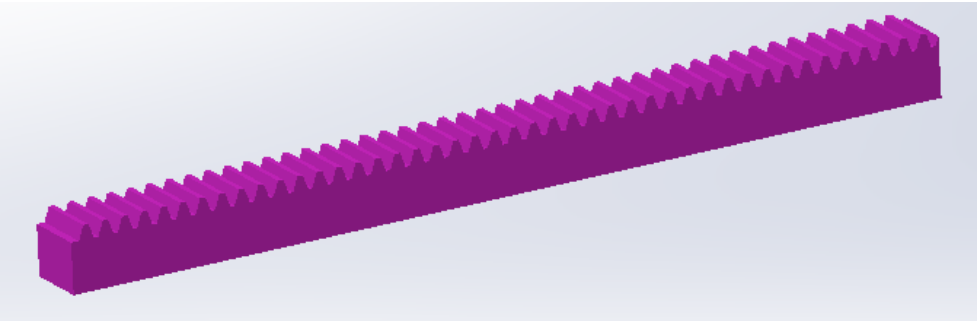


Ilustración 43. Cremallera

- Volumen: 100117.01 mm^3

2.8 Cálculo del motorreductor del mecanismo

Partiendo de unas condiciones mecánicas previas como son la masa que desplazar, velocidad, aceleración y coeficiente de seguridad se deducen las fuerzas corregidas que nos permitan obtener el par que debe transmitir el eje.

En este caso, el piñón transmitirá una fuerza tangencial horizontal.

$$F_{ht} = P \cdot (9{,}81 \cdot \mu + a)$$

F_{ht} = Fuerza tangencial vertical teórica. [N]
P = Masa que trasladar. [Kg]
μ = Coeficiente de rozamiento.
a = Aceleración lineal. [m/s^2]

SolidWorks brinda la oportunidad de obtener el volumen del brazo portabobinas. Este es de 6178000 mm^3.

$$P = V \cdot \rho = 6178000\ mm^3 \cdot \frac{0{,}001\ cm^3}{1\ mm^3} \cdot 7{,}85\ \left(\frac{gr}{cm^3}\right) \cdot \frac{0{,}01\ kg}{1\ gr} = 48{,}5\ kg$$

La aceleración se ha obtenido anteriormente.

$$a = 10\ m/s^2 = 0{,}01\ m/s^2$$

El coeficiente de rozamiento es difícil de obtener. En el intervienen varios factores que lo aumentan o disminuyen. Coeficiente de rozamiento estático, presión ejercida por el bloque principal (ajuste con juego), basculamiento de la carga, acción de la lubricación…De este modo, se simplifica escogiendo únicamente el valor del coeficiente de rozamiento estático entre dos aceros (la deslizadera está compuesta de acero).

$$\mu = 0{,}74$$

Superficies en contacto	μ_s	μ_k
Cobre sobre acero	0.53	0.36
Acero sobre acero	0.74	0.57
Aluminio sobre acero	0.61	0.47
Caucho sobre concreto	1.0	0.8
Madera sobre madera	0.25-0.5	0.2
Madera encerada sobre nieve húmeda	0.14	0.1
Teflón sobre teflón	0.04	0.04
Articulaciones sinoviales en humanos	0.01	0.003

Tabla 6. Coeficientes de rozamiento estático y cinético

Por tanto;

$$F_{ht} = 48{,}5 \cdot (9{,}81 \cdot 0{,}76 + 0{,}01) = 362{,}08\ N$$

La fuerza tangencial corregida es el producto de la calculada por un coeficiente de seguridad (K).

$$F_{hc} = F_{ht} \cdot K$$

De acuerdo con la tabla se escoge un coeficiente de seguridad de 1,8 (tiempo de trabajo ocasional con carga moderada).

	Tipo de carga		
Tiempo de trabajo	**Uniforme**	**Moderada**	**Pesada**
Ocasional (1/2 hora)	1.5	1.8	2.3
Intermitente (3 horas)	1.8	2	2.5
8-10 horas	2	2.25	2.8
24 horas	2	2.5	3

Tabla 7. Coeficiente de seguridad en función del tipo de carga

$$F_{hc} = 362{,}08 \cdot 1{,}8 = 651{,}75\ N$$

Con este dato, se calcula el par que debe transmitir el piñón:

$$M = \frac{d_p \cdot F_{hc}}{2000 \cdot \eta}$$

d_p = Diámetro primitivo del piñón. [mm]
M = Par de giro. [Nm]
η = Rendimiento piñón cremallera. (Se estima de 0,9)

$$M = \frac{40 \cdot 651{,}75}{2000 \cdot 0{,}9} = 14{,}4833\ Nm = 1{,}477\ kgm$$

Las revoluciones a las que girará el piñón en el momento de máxima velocidad son:

$$n = \frac{V \cdot 60000}{d_p \cdot \pi}$$

V = Velocidad lineal de la cremallera, [m/s]

$$n = \frac{0{,}05 \cdot 60000}{40 \cdot \pi} = 23{,}8732\ rpm = 2{,}5\ rad/s$$

La potencia que transmite el eje será por tanto de:

$$Potencia = \frac{M \cdot n}{716}$$

$$Potencia = \frac{1{,}477 \cdot 23{,}8732}{716} = 0{,}05\ CV = 37{,}285\ W$$

2.8.1 Elección del motor

Se va a escoger un servomotor del fabricante Omron. Se elige servo ya que es un dispositivo muy similar a un motor de corriente continua pero que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación y mantenerse estable en dicha posición, lo que lo hace ideal para la aplicación. Además, puede ser controlado tanto en velocidad como en posición.

El servo elegido debe contar con freno, pues la estabilidad del sistema depende de ello.

La elección se realiza atendiendo al par, que es de 14,5 Nm. Se escoge el 2K010F, del modelo R88M-K. Tiene potencia más que suficiente y velocidad nominal de 1000 rev/min.

Servomotores estándar de 1.000 rpm, 230 V/400 V

Valores nominales y especificaciones

Tensión aplicada			230 V	400 V				
Modelo de servomotor R88M-K□		Incremental de 20 bits	90010H-□	90010F-□	2K010F-□	3K010F-□		
		Absoluto de 17 bits	90010T-□	90010C-□	2K010C-□	3K010C-□	4K510C-□	6K010C-□
Salida nominal		W	900	900	2.000	3.000	4.500	6.000
Par nominal		N·m	8,59		19,1	28,7	43,0	57,3
Par máximo instantáneo		N·m	19,3		47,7	71,7	107,0	143,0
Corriente nominal		A (eficaces)	7,6	3,8	8,5	11,3	14,8	19,4
Corriente máx. instantánea		A (eficaces)	24	12	30	40	55	74
Velocidad nominal		$min.^{-1}$	1.000					
Velocidad máx.		$min.^{-1}$	2.000					
Constante de par		N·m/A	0,86	1,72	1,76	1,92	2,05	2,08
Momento de inercia del rotor (JM)		$kg·m^2×10^{-4}$ (sin freno)	6,70		30,3	48,4	79,1	101
		$kg·m^2×10^{-4}$ (con freno)	7,99		31,4	49,2	84,4	107
Momento de inercia de la carga admisible (JL)		Múltiplo de (JM)	10^{-1}					
Relación de potencia nominal		kW/s (sin freno)	110		120	170	233	325
		kW/s (con freno)	92,4		116	167	219	307
Carga radial admisible		N	686		1.176	1.470		1.764
Carga axial admisible		N	196		490			588
Masa aprox.		kg (sin freno)	6,7		14	20	29,4	36,4
		kg (con freno)	8,2		17,5	23,5	33,3	40,4
Especificaciones del freno	Tensión nominal		24 Vc.c. ±10%					
	Momento de inercia del freno de retención J	$kg·m^2×10^{-4}$	1,35		4,7			
	Consumo eléctrico (a 20°C)	W	19		31	34		
	Consumo de corriente (a 20°C)	A	0,79±10%		1,3±10%	1,4±10%		
	Par de fricción estática	N·m (mínimo)	13,7		24,5	58,8		
	Tiempo de alcance de par de retención	ms (máx.)	100		80	150		
	Tiempo de desconexión	ms (máx.)	50		25	50		
Especificaciones básicas	Tiempo de funcionamiento		Continuo					
	Categoría de aislamiento		Tipo F					
	Temperatura ambiente/temperatura de almacenamiento		0 a +40°C/–20 a 65°C					
	Humedad ambiente de funcionamiento/humedad de almacenamiento		Humedad relativa de 20 a 85% (sin condensación)					
	Categoría de vibración		V-15					
	Resistencia de aislamiento		20 MΩ mín. a 500 Vc.c. entre los terminales de alimentación y el terminal FG					
	Alojamiento		Totalmente cerrada, autoventilada, IP67 (excluida la sección del eje)					
	Resistencia a vibraciones		Aceleración de vibración 49 m/s^2					
	Accesorio		Montaje de brida					

Tabla 8. Tabla servomotores estándar de 1000 rpm, 230V/400V

- Peso: 17,5 kg

Ilustración 44. Servomotor

2.8.2 Elección del reductor

El reductor permitirá que el eje gire a revoluciones bajas (las de diseño) mientras que el servo trabaje a la velocidad nominal, lo que aumentará su vida útil.

El eje gira a 23,87 rev/min. 24 rev/min aproximadamente. La relación de reducción será de:

$$i = \frac{1000}{24} = 41{,}66$$

Se escoge una caja de cambios helicoidal de bisel en línea de dos etapas Serie-R02 de VARVEL.

Este reductor trabaja a un máximo de 1400 rpm y a una transmisión de potencia de 90 W. El servo escogido trabaja a 1000 rpm y la potencia que debe transmitir es de 37 W. Cabe señalar que las pérdidas del motor reductor aumentarán este valor, no superando en ningún momento los 90 W. La relación de reducción es de 45,9. Esto implica que el motor trabajará a las siguientes revoluciones.

$$n_{reales\_MOTOR} = 23{,}87 \cdot 45{,}9 = 1095{,}63\ rpm$$

Getriebe - Gearboxes - Riduttori RO-2

1400 rpm — Getriebemotorauswahl - Geared motor Selection - Selezione Motoriduttore

P_1 [kW]	i_n	i_r	n_2 [rpm]	M_2 [Nm]	FS	Tipo - Size - Größe	F_{r2} [N]	MRO [kg]	FRO [kg]	J_m × 10^{-4}	J_1 × 10^{-4}
0,06	51,50	51,510	27,2	20,0	>3,0	MRO 02	4.900	7,1	4,6	1,50	0,4902
	45,90	45,900	30,5	20,0	>3,0	MRO 02	4.900	7,1	4,6	1,50	0,4917
	38,10	38,050	36,8	14,4	>3,0	MRO 02	4.200	7,1	4,6	1,50	0,4948
	36,70	36,730	38,1	15,0	>3,0	MRO 02	4.350	7,1	4,6	1,50	0,5092
	32,70	32,730	42,8	12,0	>3,0	MRO 02	4.150	7,1	4,6	1,50	0,5121
	31,90	31,880	43,9	13,2	>3,0	MRO 02	3.950	7,1	4,6	1,50	0,4983
	27,10	27,130	51,6	11,0	>3,0	MRO 02	3.700	7,1	4,6	1,50	0,5181
	24,40	24,410	57,4	10,0	>3,0	MRO 02	3.700	7,1	4,6	1,50	0,5579
	22,70	22,730	61,6	8,3	>3,0	MRO 02	3.400	7,1	4,6	1,50	0,5251
	21,80	21,750	64,4	8,3	>3,0	MRO 02	3.400	7,1	4,6	1,50	0,5645
	18,00	18,030	77,6	6,6	>3,0	MRO 02	3.100	7,1	4,6	1,50	0,5780
	16,40	16,360	85,6	6,0	>3,0	MRO 02	3.000	7,1	4,6	1,50	0,5451
	15,10	15,100	92,7	6,0	>3,0	MRO 02	2.850	7,1	4,6	1,50	0,5939
	10,90	10,880	128,7	4,2	>3,0	MRO 02	2.300	7,1	4,6	1,50	0,6392
	8,60	8,580	163,2	3,3	>3,0	MRO 02	2.200	7,1	4,6	1,50	0,9445
	7,20	7,190	194,8	2,8	>3,0	MRO 02	2.000	7,1	4,6	1,50	1,0150
	5,20	5,180	270,5	2,0	>3,0	MRO 02	1.700	7,1	4,6	1,50	1,2149
0,09	51,50	51,510	27,2	30,0	>3,0	MRO 02	4.900	7,2	4,6	2,00	0,4902
	45,90	45,900	30,5	30,0	>3,0	MRO 02	4.900	7,2	4,6	2,00	0,4917
	38,10	38,050	36,8	21,6	>3,0	MRO 02	4.200	7,2	4,6	2,00	0,4948
	36,70	36,730	38,1	22,5	>3,0	MRO 02	4.350	7,2	4,6	2,00	0,5092
	32,70	32,730	42,8	18,0	>3,0	MRO 02	4.150	7,2	4,6	2,00	0,5121
	31,90	31,880	43,9	19,8	>3,0	MRO 02	3.950	7,2	4,6	2,00	0,4983
	27,10	27,130	51,6	16,5	>3,0	MRO 02	3.700	7,2	4,6	2,00	0,5181
	24,40	24,410	57,4	15,0	>3,0	MRO 02	3.700	7,2	4,6	2,00	0,5579
	22,70	22,730	61,6	12,4	>3,0	MRO 02	3.400	7,2	4,6	2,00	0,5251
	21,80	21,750	64,4	12,4	>3,0	MRO 02	3.400	7,2	4,6	2,00	0,5645
	18,00	18,030	77,6	9,9	>3,0	MRO 02	3.100	7,2	4,6	2,00	0,5780
	16,40	16,360	85,6	9,0	>3,0	MRO 02	3.000	7,2	4,6	2,00	0,5451
	15,10	15,100	92,7	9,0	>3,0	MRO 02	2.850	7,2	4,6	2,00	0,5939
	10,90	10,880	128,7	6,4	>3,0	MRO 02	2.300	7,2	4,6	2,00	0,6392
	8,60	8,580	163,2	5,0	>3,0	MRO 02	2.200	7,2	4,6	2,00	0,9445
	7,20	7,190	194,8	4,1	>3,0	MRO 02	2.000	7,2	4,6	2,00	1,0150
	5,20	5,180	270,5	3,0	>3,0	MRO 02	1.700	7,2	4,6	2,00	1,2149

Tabla 9. Especificaciones técnicas de la reductora

- Peso: 7,2 kg

Ilustración 45. Reductora (acoplada a un motor)

2.9 Cálculo del material y del diámetro mínimo del eje

En este apartado se estudia el diámetro y material sobre el que se encuentra ajustado el piñón. En base al piñón escogido, el diámetro del eje es de 15 mm. En función de los resultados obtenidos, se escogerá otro piñón con un hueco mayor, o se empleará un eje de mayor resistencia.

La teoría de cálculo ASME (American Society of Mechanical Engineers) será empleada para determinar estos valores. La ecuación que desarrollar es:

$$\frac{S_{SmaximaASME}}{CS} = \frac{16}{\pi \cdot d^3}\sqrt{(C_m \cdot M_{FT})^2 + (C_t \cdot M_t)^2}$$

$S_{SmaximaASME}$ = tensión cortante máxima permisible según ASME. [lb/pulg²]
CS = Coeficiente de seguridad, deberá ser mayor de 1,2.
D = Diámetro del eje, [pulg]
C_m = Constante según el código ASME
C_t = Constante según el código ASME
M_{FT} = Momento flector total. [lb*pulg]
M_t = Momento torsor. [lb*pulg]

El eje contendrá en su punto medio al piñón que mueve el brazo. En los extremos del piñón se colocarán rodamientos que permitan el giro del mismo. El eje tendrá una distancia similar al ancho del brazo, es decir, 800 mm. La representación gráfica del problema es:

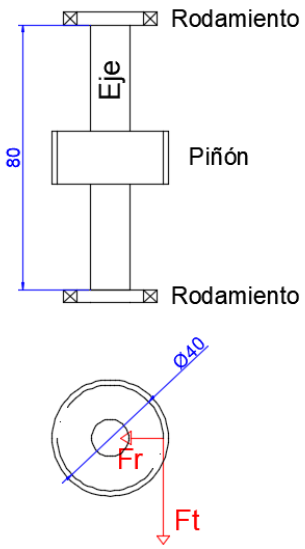


Ilustración 46. Fuerzas sobre el piñón

Sobre el eje actúa el peso del piñón (se desprecia), y la fuerza radial y tangencial sobre el piñón. La fuerza radial actuará horizontalmente y la tangencial verticalmente.

$$F_t = 651{,}75\ N$$

La fuerza radial se calcula por medio del ángulo de presión, que según la ficha técnica del piñón y la cremallera es de 20º.

$$\phi = 20^o$$

La fuerza normal y radial son, por tanto:

$$F_n = \frac{F_t}{cos\phi} = \frac{651{,}75}{\cos(20)} = 693{,}578\ N$$

$$F_r = F_t \cdot tg\phi = 651{,}75 \cdot tg(20) = 23{,}22\ N$$

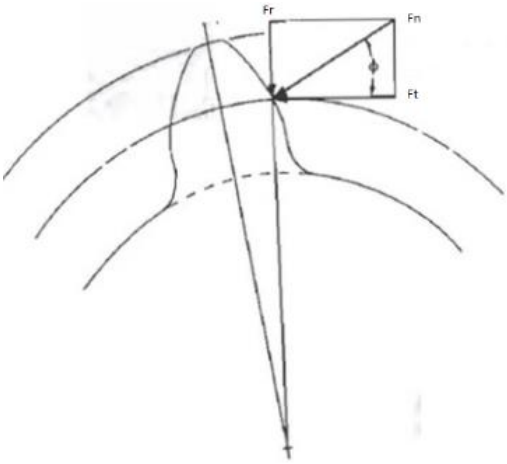


Ilustración 47. Incidencia de las fuerzas sobre el diente

Estas fuerzas producirán momentos máximos allá donde inciden, es decir, en el centro del eje. La combinación de las dos es el momento máximo al que está solicitado el eje.

- Momento creado por la fuerza horizontal:

$$M_{F1} = F_r \cdot \frac{d}{2} = 237{,}22 \cdot \frac{80}{2} = 9488{,}8\ Nm$$

d = Distancia del eje. [mm]

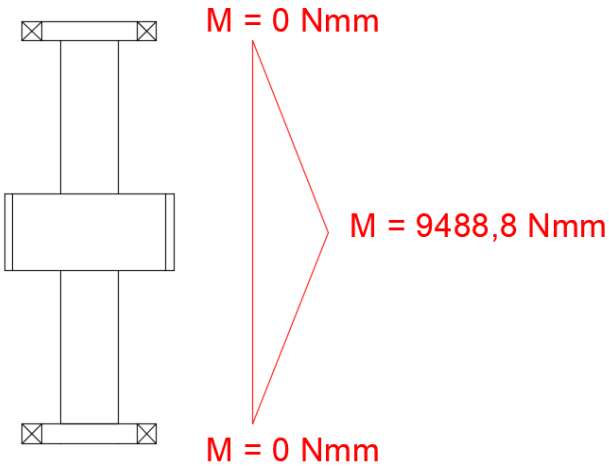


Ilustración 48. Momento creado por Mr

- Momento creado por la fuerza vertical:

$$M_{F2} = F_t \cdot \frac{d}{2} = 651{,}75 \cdot \frac{80}{2} = 26070\ Nm$$

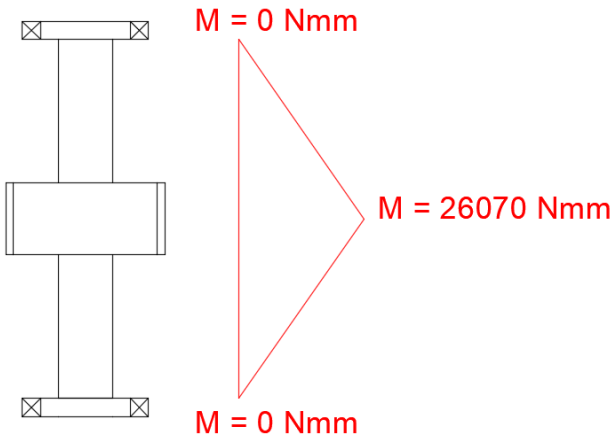


Ilustración 49. Momento creado por Mt

- Momento flector total:

$$M_{FT} = \sqrt{M_{F1}^2 + M_{F2}^2} = \sqrt{9488{,}8^2 + 26070^2} = 27743\ Nmm = 27{,}74\ Nm = 238{,}97\ lb \cdot plg$$

El momento torsor es:

$$M_t = \frac{40 \cdot 651{,}75}{2000 \cdot 0{,}9} = 14{,}48\ Nm = 123{,}91\ lb \cdot plg$$

La tabla de constantes según el código ASME:

CONSTANTES SEGÚN EL CÓDIGO ASME

Naturaleza de la carga	Valores para C_m	Valores para C_t
Ejes fijos:		
Carga aplicada gradualmente	1,0	1,0
Carga aplicada repentinamente	1,5-2,0	1,5-2,0
Ejes giratorios:		
Carga constante o aplicada gradualmente	1,5	1,0
Cargas aplicadas bruscamente, solamente pequeños impactos	1,5-2,0	1,0-1,5
Cargas aplicadas bruscamente, grandes impactos	2,0-3,0	1,5-3,0

Ilustración 50. Constantes según el código ASME

La carga es constante y aplicada gradualmente, por lo que:

$C_m = 1{,}5$ = Constante según el código ASME

$C_t = 1$ = Constante según el código ASME

El diámetro del eje es:

d = 1,5 cm = 0,59 (pulg)

La tensión cortante máxima permisible es el menor valor entre el 30% de la tensión de fluencia y el 18 % de la tensión última. Si existe cuñero, como es el caso, el valor anterior se reduce un 25%.

Se recurre a la tabla Tabla 10 y se escoge el acero 1020 N (normalizado). Este acero presenta las siguientes características:

- Tensión última: 64000 lb/plg^2
- Tensión de fluencia: 50000lb/plg^2

Por tanto;

30% de 50000 = 15000

18% de 64000 = 11520, el menor

$$S_{SmaximaASME} = 11520 - 0{,}25 \cdot 11520 = 8640\ lb/plg^2$$

Se transcriben los datos a la fórmula y se tiene:

$$\frac{8640}{CS} = \frac{16}{\pi \cdot 0{,}59^3}\sqrt{(1{,}5 \cdot 238{,}97)^2 + (1 \cdot 123{,}91)^2}$$

$$\frac{8640}{CS} = 9405{,}01$$

CS = 0,91

El coeficiente de seguridad debe ser mayor que 1, por lo que el acero 1020 normalizado no resiste la tensión cortante a la que está sometido el eje. Se probará con otro acero y si no es posible, se escogerá un nuevo piñón con la posibilidad de un eje mayor.

Con un CS de 1.3, la tensión cortante máxima del material debe ser mayor o igual que 12226,5 lb/pulg^2.

Se realiza el proceso matemático inverso para hallar el acero adecuado.

$$x - 0{,}25 \cdot x = 12226{,}5$$

$$x = 16302$$

Tensión última = 16302/0,18 = 90566,66 = 90,567 klb/plg^2

Tensión de fluencia = 16302/0,3 = 54340 = 54,34 klb/plg^2

Se acude a la tabla Tabla 10 y se escoge un material que cumpla las dos condiciones.

El acero con el que se fabrique el eje será un **1045 normalizado**.

Tabla A-2 Propiedades mecánicas de aceros al carbón y aleados (basado en espécimen de 1 plg de diámetro)

Tipo AISI	Condición	Resistencia a la tensión, kib/plg^2	Resistencia a la cedencia, kib/plg^2	Alargamiento en 2 plg, %	Reducción en área, %	Dureza, BHN	Maquinabilidad (basada en 1112 = 100)
1010	HR	64	42	28	67	107	45
	CD	78	68	16	63	129	55
	CDA	64	48	28	65	131	55
1020	HR	65	43	36	59	143	50
	CD	78	66	20	55	156	65
	A	57	52	37	66	111	90
	N	64	50	36	68	131	75
1030	HR y torneado	72	44	31	63	140	—
	CD	84	76	16	57	177	65
	A	67	50	31	58	126	—
	N	76	51	32	61	149	—
1040	HR	91	58	27	50	201	63
	CD	100	88	17	42	207	65
	A	75	51	30	57	149	—
	N	85	50	28	55	170	60
1045	HR	98	59	24	45	212	56
	CD	103	90	14	40	217	60
	A	90	55	27	54	174	60
	N	99	61	25	49	207	—
1050	HR	105	67	15	—	—	—
	CD	114	104	9	—	—	54
	A	92	43	24	40	187	—
	N	109	62	20	39	217	—
1095	HR	142	83	18	38	295	—
	A	95	38	13	21	192	—
	N	147	73	10	14	293	—
1118	HR	75	50	35	55	140	—
	CD	85	75	25	55	170	80
	A	65	41	35	67	131	80
	N	69	46	34	66	143	80
2330	CD	105	90	20	50	212	50
	A	86	61	28	58	179	50
	N	100	68	26	56	207	—
3140	CD	107	92	17	50	212	55
	A	100	61	25	51	197	55
	N	129	87	20	58	262	—
4130	HRA	86	56	29	57	183	65
	CDA	98	87	21	52	201	70
	N	97	63	26	60	197	50

FUENTE: *ASME Handbook-Material Properties*, McGraw-Hill Book Co., 1954; *Ryerson Data Book*, Joseph T. Ryerson and Sons, Inc., 1965.

NOTA: HR = rolado en caliente, HRA = rolado en caliente y recocido, CD = rolado en frío, CDA = rolado en frío y recocido, HRN = rolado en caliente y normalizado, A = recocido, N = normalizado.

Tabla 10. Propiedades mecánicas de aceros al carbón y aleados

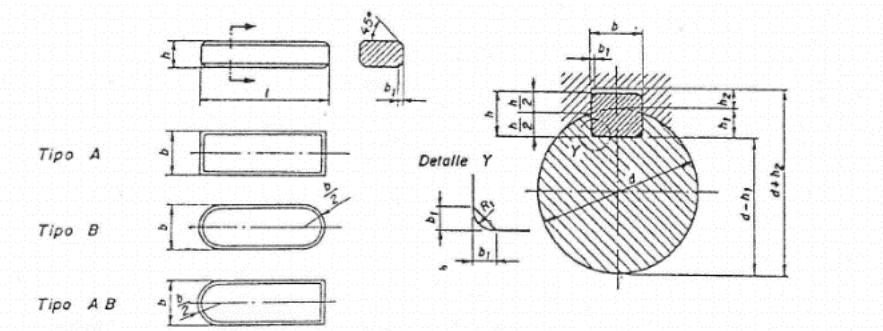
2.10 Cálculo del chavetero y la chaveta del eje

Datos de partida:

D = 15 mm h/2 = 2,73 mm l = 23 mm
b = 5 mm h = 5

Se escoge chaveta TIPO A:

h = 5 – 2,73 = 2,27
Chaflán = 0,3
Tolerancia en el ancho = h9, y sin tolerancia en altura



2. Designación

Designación de una chaveta paralela, tipo A, de ancho b = 32 mm, altura h = 18 mm y longitud l = 180 mm:

Chaveta paralela A 32 × 18 × 180 UNE 17102 h 1

3. Medidas

Sección b × h	Ancho b		Altura h		Chaflán b_1		Longitud l (2)	
	Nominal	Tolerancia h 9	Nominal	Tolerancia (1)	Mínimo	Máximo	de	a
2 × 2	2	0	2	0	0,16	0,25	6	20
3 × 3	3	— 0,025	3	— 0,025	0,16	0,25	6	36
4 × 4	4	0	4	0	0,16	0,25	8	45
5 × 5	5	— 0,030	5	— 0,030	0,25	0,40	10	56
6 × 6	6		6		0,25	0,40	14	70
8 × 7	8	0	7		0,25	0,40	18	90
10 × 8	10	— 0,036	8		0,40	0,60	22	110
12 × 8	12		8	0	0,40	0,60	28	140
14 × 9	14	0	9	— 0,090	0,40	0,60	36	160
16 × 10	16	— 0,043	10		0,40	0,60	45	180
18 × 11	18		11		0,40	0,60	50	200
20 × 12	20		12		0,60	0,80	56	220
22 × 14	22	0	14	0	0,60	0,80	63	250
25 × 14	25	— 0,052	14	— 0,110	0,60	0,80	70	280
28 × 16	28		16		0,60	0,80	80	320
32 × 18	32		18		0,60	0,80	90	360
36 × 20	36	0	20		1,00	1,20	100	400
40 × 22	40	— 0,062	22	0	1,00	1,20	—	—
45 × 25	45		25	— 0,130	1,00	1,20	—	—
50 × 28	50		28		1,00	1,20	—	—
56 × 32	56		32		1,60	2,00	—	—
63 × 32	63	0	32		1,60	2,00	—	—
70 × 36	70	— 0,074	36		1,60	2,00	—	—
80 × 40	80		40	0	2,50	3,00	—	—
90 × 45	90	0	45	— 0,160	2,50	3,00	—	—
100 × 50	100	— 0,087	50		2,50	3,00	—	—

(1) Tolerancia sobre la altura h de la chaveta: h 9 para las de sección cuadrada, y h 11 para las rectangulares.
(2) Las longitudes recomendadas son: 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 25, 28, 32, 36, 40, 45, 50, 56, 63, 70, 80, 90, 100, 110, 125, 140, 160, 180, 200, 220, 250, 280, 320, 360 y 400.

Tabla 11. Medidas chavetas según norma UNE 17102

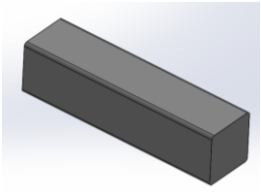


Ilustración 51. Chaveta

- Volumen: 573.22 mm3

El eje será de mayor grosor en su parte inferior. Esto permitirá al piñón no desplazarse hacia abajo.

Ilustración 52. Eje

- Volumen 24587.76 mm^3

Para prevenir ascensos, se efectúa una ranura de 1,1 mm de espesor en el eje, donde irá ubicado un anillo de seguridad para ejes DIN 471.

- Anillo 07330 DIN 471 (extraído de TRACEPARTS y de marca Norlem)

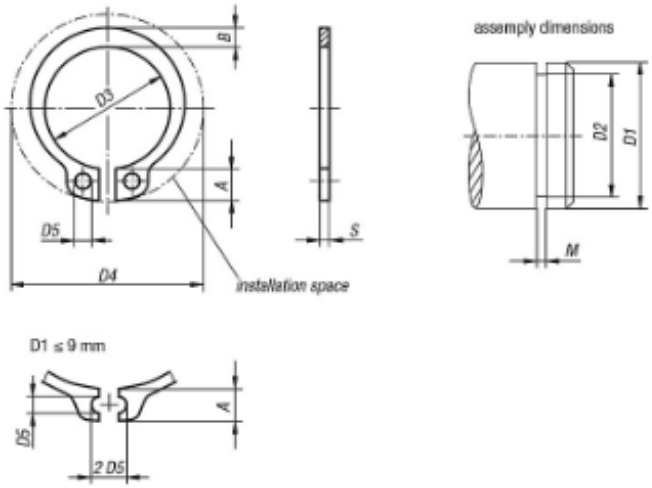


Ilustración 53. Medidas anillo de seguridad

Description	A	B	D1	D2	D3	D4	D5	M	material	Approx. Weight g	S
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	3	1	5	5	5	10	1	1	Steel	0	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	3	1	6	6	6	12	1	1	Steel	0	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	3	2	8	8	7	15	1	1	Steel	0	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	3	2	10	10	9	17	2	1	Steel	0	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	3	2	12	12	11	19	2	1	Steel	1	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	4	2	14	13	13	21	2	1	Steel	1	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	**4**	**2**	**15**	**14**	**14**	**23**	**2**	**1**	**Steel**	**1**	**1**
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	4	2	16	15	15	24	2	1	Steel	1	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	4	2	17	16	16	25	2	1	Steel	1	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	4	2	18	17	17	26	2	1	Steel	1110	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	4	3	20	19	19	28	2	1	Steel	1300	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	4	3	22	21	21	31	2	1	Steel	1500	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	4	3	25	24	23	34	2	1	Steel	1900	1
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	5	4	30	29	28	41	2	2	Steel	3310	2
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	6	4	35	33	32	47	3	2	Steel	4000	2
07330 CIRCLIPS FOR SHAFTS DIN 471	7	5	50	47	46	65	3	2	Steel	10200	2

Tabla 12. Especificaciones del anillo de seguridad

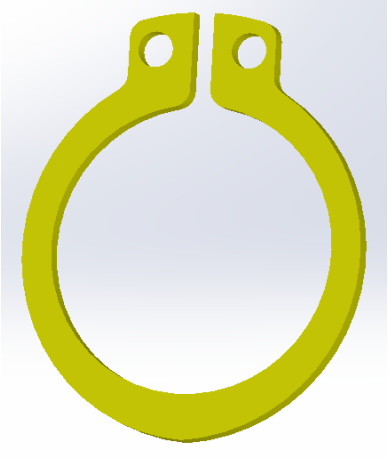


Ilustración 54. Anillo de seguridad

- Volumen: 90,73 mm^3

El rodamiento debe soportar cargas radiales básicamente, pero en todos los sentidos. Al tratarse de una carga moderada, se emplearán rodamiento de bolas.

Se escoge el MODELO 6302 de NSK.

d = 15 D = 42 B = 13

- Rodamiento NSK 6302 (extraído de TRACEPARTS y de marca NSK).

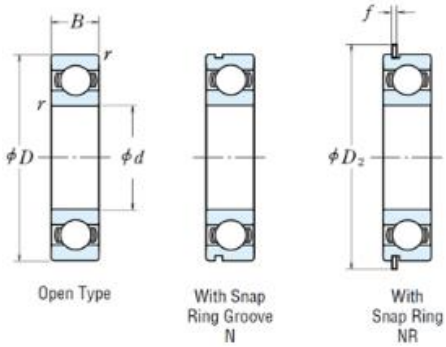


Ilustración 55. Medidas rodamiento 6302

d (mm)	D (mm)	B (mm)	r min (mm)	Cr (N)	C0r (N)	Cr (kgf)	C0r (kgf)
15	32	9	0.3	5600	2630	570	269
15	35	11	0.6	7650	3750	780	380
15	**42**	**13**	**1**	**11400**	**5450**	**1170**	**555**
17	26	5	0.3	2630	1570	268	160
17	30	7	0.3	4600	2550	470	260
17	35	8	0.3	6000	3250	610	330
17	35	10	0.3	6000	3250	610	330

Ilustración 56. Especificaciones del rodamiento

- Volumen: 14595.75 mm^3.

2.11 Cálculo de la resistencia a flexión del piñón

El estudio del fallo o fractura del engranaje se realiza por medio de la ecuación de Lewis. Lewis establece que el diente que sufre la fuerza se asemeja a una viga empotrada en un cuerpo. El estudio se realiza sobre el elemento motriz, es decir, el piñón.

$$F_b = S \cdot b \cdot y \cdot p$$

F_b = Carga o fuerza a flexión, [lb]
S = Esfuerzo admisible, [lb/plg^2]
b = Ancho de diente, [plg]
y = Factor geométrico de Lewis.
p = Paso circular, [plg]

Las medidas del piñón son prácticamente inamovibles, por tanto, la única variable susceptible de cambiar es el esfuerzo admisible, o lo que es lo mismo, el material del que esté fabricado el engranaje.

El paso circular es igual a:

$$p = \frac{\pi \cdot d}{N} = \frac{\pi \cdot 40}{20} = 2\pi\ mm = 0{,}247\ plg$$

El ancho del diente son 20 mm:

b = 0,7874 plg

Para hallar el factor geométrico se acude a la Tabla 13. El ángulo de presión es 20º y 20 es el número de dientes.

No. de dientes	Carga en la parte superior								Carga cerca del centro			
	14½° FD		20° FD		20° dientes cortos		25°		14½° FD		20° FD	
—	Y	y	Y	y	Y	y	Y	y	Y'	y'	Y'	y'
10	0.176	0.056	0.201	0.064	0.261	0.083	0.238	0.076				
11	0.192	0.061	0.226	0.072	0.289	0.092	0.259	0.082				
12	0.210	0.067	0.245	0.078	0.311	0.099	0.277	0.088	0.355	0.113	0.415	0.133
13	0.223	0.071	0.264	0.083	0.324	0.103	0.293	0.093	0.377	0.120	0.443	0.141
14	0.236	0.075	0.276	0.088	0.339	0.108	0.307	0.098	0.399	0.127	0.468	0.149
15	0.245	0.078	0.289	0.092	0.349	0.111	0.320	0.102	0.415	0.133	0.490	0.156
16	0.255	0.081	0.295	0.094	0.360	0.115	0.332	0.106	0.430	0.137	0.503	0.160
17	0.264	0.084	0.302	0.096	0.368	0.117	0.342	0.109	0.446	0.142	0.512	0.163
18	0.270	0.086	0.308	0.098	0.377	0.120	0.352	0.112	0.459	0.146	0.522	0.167
19	0.277	0.088	0.314	0.100	0.386	0.123	0.361	0.115	0.471	0.150	0.534	0.170
20	0.283	0.090	0.320	0.102	0.393	0.125	0.369	0.118	0.481	0.153	0.544	0.173
21	0.289	0.092	0.326	0.104	0.399	0.127	0.377	0.120	0.490	0.156	0.553	0.177
22	0.292	0.093	0.330	0.105	0.404	0.129	0.384	0.122	0.496	0.158	0.559	0.178
23	0.296	0.094	0.333	0.106	0.408	0.130			0.502	0.160	0.565	0.180
24	0.302	0.096	0.337	0.107	0.411	1.032	0.396	0.126	0.509	1.062	0.572	0.183

Tabla 13. Factor de forma de Lewis

y = 0,102

$$F_b = S \cdot 0{,}7874 \cdot 0{,}102 \cdot 0{,}2471 = S \cdot 0{,}019885\ lb$$

Para verificar y comprobar la validez del piñón, la fuerza a flexión se compara con la fuerza dinámica, de modo que se cumpla la siguiente relación;

$$F_b \geq F_d$$

$$F_d = \frac{600 + V}{600} \cdot F_t$$

F_d = Fuerza dinámica. [lb]
V = Velocidad lineal. [pie/min]
F_t = Fuerza tangencial. [lb]

V = 50mm/s = 9,84252 pie/min

$$F_d = \frac{600 + 9{,}8452}{600} \cdot 651{,}75 = 662{,}44\ lb$$

$$F_b \geq F_d \Longrightarrow S \cdot 0{,}019885 \geq 662{,}44 \Longrightarrow S \geq 33312{,}77\ lb/plg^2$$

El esfuerzo admisible debe ser superior a 33313,77 lb/plg^2. El material de diseño del piñón se escoge en la tabla Tabla 14.

Material	S_a lb/plg^2	BHN
Fundición gris		
ASTM 25	8 000	174
ASTM 35	12 000	212
ASTM 50	15 000	223
Acero vaciado (bajo carbón)		
0.20% C sin tratamiento térmico	20 000	180
0.20% C WQT	25 000	250
Acero al carbón forjado		
SAE 1020 endurecimiento superficial y WQT	18 000	156
SAE 1030 sin tratamiento	20 000	180
SAE 1035 sin tratamiento	23 000	190
SAE 1040 sin tratamiento	25 000	202
SAE 1045 sin tratamiento	30 000	215
SAE 1045 endurecido por WQT	32 000	205
SAE 1050 endurecido por OQT	35 000	223
Aceros aleados		
SAE 2320 endurecimiento superficial y WQT	50 000	225
SAE 2345 endurecido por OQT	50 000	475
SAE 3115 endurecimiento superficial y OQT	37 000	212
SAE 3145 endurecido por OQT	53 000	475
SAE 3245 endurecido por OQT	65 000	475
SAE 4340 endurecido por OQT	65 000	475
SAE 4640 endurecido por OQT	55 000	475
SAE 6145 endurecido por OQT	67 500	475
Materiales a base de cobre		
SAE 43 (ASTM B147-52, 8A) (manganeso bronce)	20 000	100
SAE 62 (ASTM B143-52, 1A) bronce de cañón	10 000	80
SAE 65 (ASTM B144-52, 3C) (fósforo bronce)	12 000	100
SAE 68 (ASTM B148-52, 9B) (aluminio bronce tratado térmicamente)	22 000	180

Tabla 14. Esfuerzos estáticos de seguridad

El piñón estará constituido por acero al carbón forjado, concretamente SAE 1050 endurecido por QQT. Este acero presenta las características:

- Esfuerzo admisible: 35000 lb/plg^2
- Dureza BHN 223
- Ra ≤ 0,8.

La cremallera, será fabricada con dentado templado. Sus caras deben ser cuidadosamente acabadas por rectificado lo que se garantiza una excelente regularidad de engranaje además de una muy buena transmisión de movimiento uniforme, silencioso y sin vibraciones.

El material de la cremallera se escoge entre los disponibles de la tabla Tabla 15.

CAPACIDADES MECÁNICAS							
Material	Tipo	Tratamiento térmico	Capacidad	Precisión del perfil	Ra	Error	
						Paso	Total
I	F-114	Recocido isotérmico con sucesivo temple y revenido	>70 kg/mm2	Clase 8 según DIN 3962	<0,8	0.01	0.15
II	F-114	Recocido isotérmico con sucesivo temple y revenido	>52 HRc	Clase 5 según DIN 3962	<0,8	0.003	0.035
III	F1540	Cementado, templado y revenido	58-62 HRc	Clase 5 según DIN 3962	<0,8	0.003	0.035

Tabla 15. Capacidades mecánicas de la cremallera

Tipo I: Material F-114 bonificado R=70 Kg/mm2.
Este tipo de material se utiliza para aplicaciones generales sin grandes exigencias y cargas medio-pequeñas. Las cremalleras son acabadas por fresado lográndose un error de paso individual de 0,01 mm máximo y en su longitud total de 0.15 mm.

Tipo II: Material F-114 bonificado y templado por inducción HRC= 52
Las cremalleras fabricadas con este tipo de material y tratamiento aportan unas prestaciones medias/altas en cuanto a la capacidad de carga se refiere. Los dientes son templados por inducción y posteriormente rectificados. Con este proceso se logran notables prestaciones de traslación, errores de paso individual de 0,003 mm y en su longitud total 0,035 mm. Todas las caras de la cremallera son rectificadas obteniéndose una buena calidad superficial.

Tipo III: Material 18 NiCrMo5 (F-154) de cementación y temple HRc = 58-62
Este tipo de material se utiliza para cremalleras con altas prestaciones. La dureza superficial y la profundidad de la capa templada muy uniforme aportan al dentado unas elevadas prestaciones. El acabado de los dientes es por rectificado con una rugosidad de Ra < 0,8. La precisión obtenida por rectificado es muy alta, siendo el error de paso individual de 0,003 mm y el total de 0,035 mm.

El material I no satisface las necesidades de la aplicación (exigencias medio-altas), por lo que la mejor opción es el material II. El tipo III excede las prestaciones que se buscan. Material de la cremallera: F-114 bonificado y templado por inducción:

- HRc = 58 - 62
- Ra ≤ 0,8.
- Clase 5.

2.12 Diseño del bloque principal y el contrapeso

2.12.1 Bloque principal

Como se describió en un principio, el bloque principal tendrá una anchura de 1000 mm y el perfil en forma de c. En el hueco de la "c" se colocará el contrapeso. Ambas piezas deberán estar constituidas por el mismo material, o en su defecto, tener una igual densidad.

En primer lugar, al perfil en c se le deberá recortar material para que en el vayan alojadas las deslizaderas. Este rectificado será de 4 mm. Por su parte la c tendrá un espesor de 60 mm, suficiente para que las desviaciones en y sean mínimas.

La profundidad de la c se calcula en función de la posición del eje y del hueco para alojar el rodamiento.

La cremallera sobresale del brazo 10 milímetros. Esto quiere decir que el diámetro primitivo del piñón se encuentra a 8 milímetros del brazo. El centro del eje se encontrará a:

$$D_{eje} = r_p + 8 = 20 + 8 = 28 \text{ mm}$$

El rodamiento tiene un diámetro exterior de 42 mm, por tanto, la distancia más lejana a la que se encuentra el rodamiento del brazo es de:

$$D_{rod} = D_{eje} + r_{ext} = 28 + 21 = 49 \text{ mm}$$

Se darán otros 21 mm para una correcta sujeción del brazo. Por tanto, las medidas de perfil del bloque principal son:

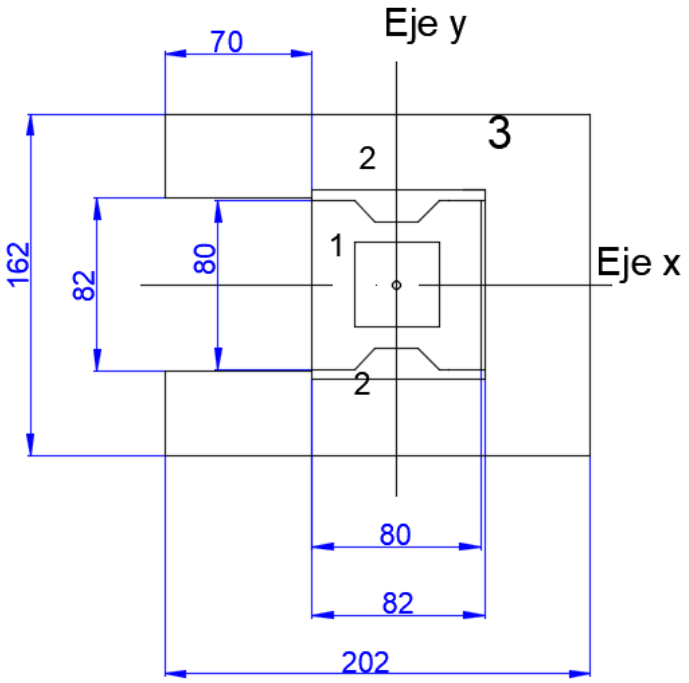


Ilustración 57. Medidas del bloque principal

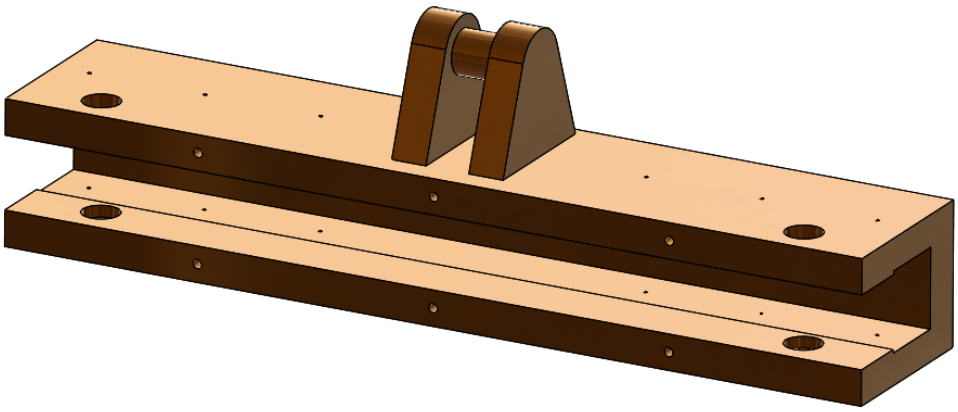


Ilustración 58. Bloque principal

- Volumen: 21205212.58 mm^3

2.12.2 Contrapeso

Uno de los caballos de batalla de la garra y en general del puente grúa debe ser su simetría. Es vital para que no se produzcan basculamientos. Se recuerda que el puente grúa se automatizará y debe tener una gran precisión.

Si se mira la garra frontalmente existe simetría por el eje que la divide en dos mitades.

En cuanto a la vista de perfil, el punto por donde deben pasar los dos ejes de simetría es el que corresponde con el centro de los brazos. De esta forma el brazo irá siempre alineado.

Es evidente que sobre el eje x se cumple la relación simétrica del conjunto. El problema subyace con el eje y. Por las condiciones morfológicas del conjunto es imposible que exista simetría sobre este eje. Como solución, una tapa-contrapeso en el lado trasero del bloque principal que mueva el centro de gravedad del conjunto sobre el centro del brazo.

Para el cálculo del contrapeso se van a obviar los elementos de menor índole del sistema, es decir, los dos ejes, piñones, cremalleras, rodamientos. Para compensar su peso, en las zonas donde se encuentren se prescindirá del contrapeso.

A la hora de desplazar el centro de gravedad al punto señalado no será necesario tener en cuenta al brazo (1), ya que es el centro de gravedad que se quiere obtener. Las dos deslizaderas (2), tampoco se tendrán en cuenta, ya que la desviación que suponen es mínima.

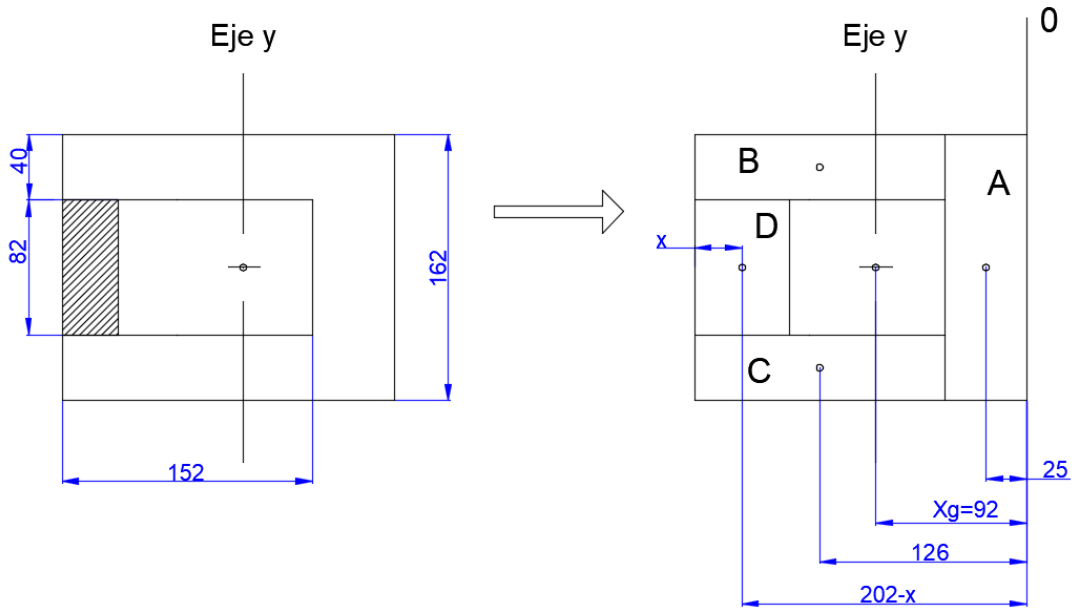


Ilustración 59. Centros de gravedad sobre el eje x

En la imagen de la izquierda aparece rayado el contrapeso, que irá fijo al límite izquierdo (según la imagen) del bloque principal y dependiendo de los resultados obtenidos se extenderá en mayor o menor proporción hacia la derecha.

En la imagen de la derecha se divide el cuerpo en rectángulos y se señala su centro de gravedad sobre x. El centro de gravedad a obtener debe situarse en el punto X_g= 92 mm. También se señala la cota de referencia sobre la que se toman las medidas.

El ancho del contrapeso (D) se ha denotado con la variable x. Así, el centro de gravedad sobre el eje x se encuentra en el punto 202-x.

La fórmula que emplear es la siguiente:

$$X_G = \frac{\sum S_i \cdot X_i}{\sum S_i} = \frac{S_A \cdot X_A + S_B \cdot X_B + S_C \cdot X_C + S_D \cdot X_D}{S_A + S_B + S_C + S_D}$$

Transcribiendo;

$$92 = \frac{(50 \cdot 162) \cdot 25 + (40 \cdot 152) \cdot 126 + (40 \cdot 152) \cdot 126 + (2 \cdot x \cdot 82) \cdot (202 - x)}{(50 \cdot 162) + (40 \cdot 152) + (40 \cdot 152) + (2 \cdot x \cdot 82)}$$

La ecuación se ha transcrito a una hoja de cálculo, para iterar con diferentes valores de x que se aproximen a 102. No se pretende llegar al 102, ya que al contrapeso habrá que soldarle una fina chapa que sirva de sujeción al bloque principal.

	S	x
Elemento A	8100	25
Elemento B	6080	126
Elemento C	6080	126
Elemento D	1148	195
x	7	
Xg	91,485426	

Tabla 16. Resultado del espesor del contrapeso

91,485 es una buena cifra, la chapa se encargará de compensar los 0,515 milímetros restantes. De esta forma, el contrapeso tendrá un ancho de:

$$Ancho_{CONTRAPESO} = 2 \cdot x = 2 \cdot 7 = 14\ mm$$

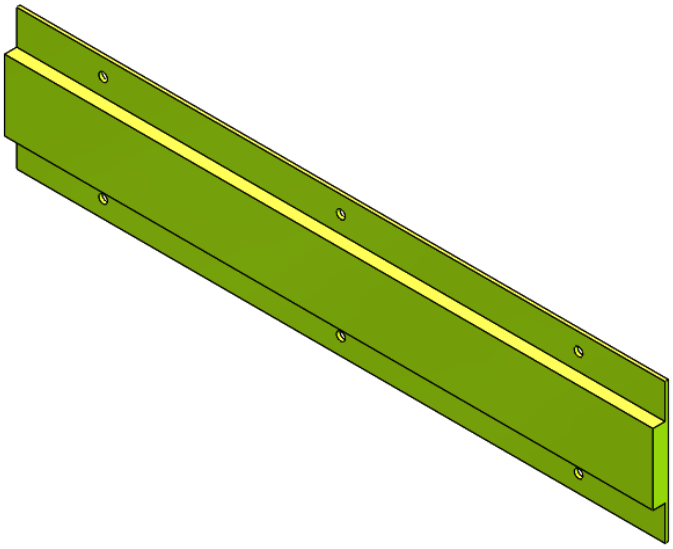


Ilustración 60. Contrapeso

- Volumen: 1345115.04 mm^3

2.13 Descenso del bloque principal

En este apartado se calcula mediante MEF (software ANSYS), el descenso de la bobina debido a la deformación del brazo principal.
Para este cometido, se extrae la pieza de un fichero CAD en 3D, al que se le han realizado algunas modificaciones (la original producía error en el programa). Se ha transformado los elementos circulares de enganche a formas cuadradas.

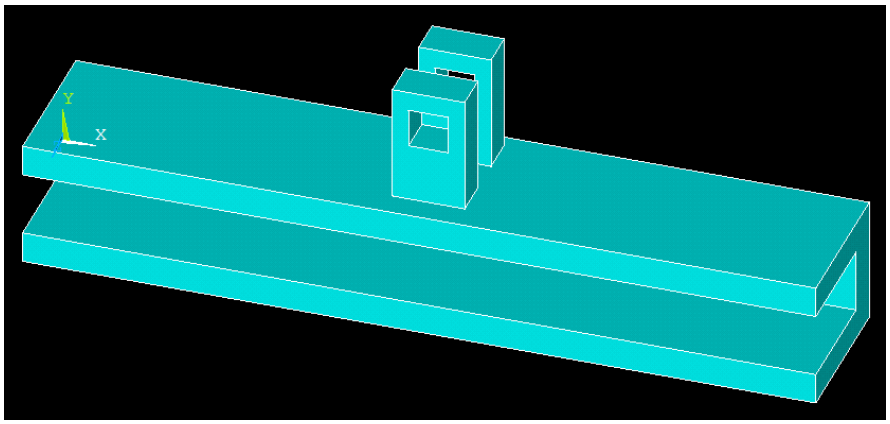


Ilustración 61. Bloque principal modificado

Se emplea el elemento finito 10 node 187 (SOLID 187) y se establecen como módulo de elasticidad y coeficiente de poison 210000 MPa y 0,3 respectivamente.

Como restricciones de diseño, en las aberturas cuadradas (en teoría circulares) en donde se ubica el eje al que se engancha el gancho, se limitan todos los movimientos.

En cuanto a la carga, el bloque soporta básicamente la acción de cargas en sentido vertical descendente. Son las producidas por todos los elementos que se ubican dentro del bloque (rodamientos, motores, reductor, brazos…) o que soportan elementos insertados en el bloque (la bobina que sujetan los brazos). Estas solicitaciones se encuentran distribuidas de manera irregular por el bloque, por lo que en el programa se simplificará añadiendo dos cargas puntuales como suma de todas las que inciden sobre la pieza en los dos extremos del bloque.

La suma de masas que soporta el bloque es:

$$masa_{TOTAL} = m_{bobina} + 2 \cdot m_{brazo} + 4 \cdot m_{deslizader} + 2 \cdot m_{piñón} + 2 \cdot m_{eje} + 4 \cdot m_{rodamiento} + m_{carcasa} + 2 \cdot m_{reductor} + 2 \cdot m_{servo}$$

$$masa_{TOTAL} = 1000 + 2 \cdot 48{,}7 + 4 \cdot 1{,}9 + 4 \cdot 0{,}8 + 2 \cdot 0{,}2 + 2 \cdot 0{,}2 + 4 \cdot 0{,}15 + 10{,}5 + 2 \cdot 7{,}2 + 2 \cdot 17{,}5 = 1170\ kg$$

El valor de la carga será de:

$$P = 10 \cdot \frac{m}{2} = 10 \cdot \frac{1170}{2} = 5850\ N$$

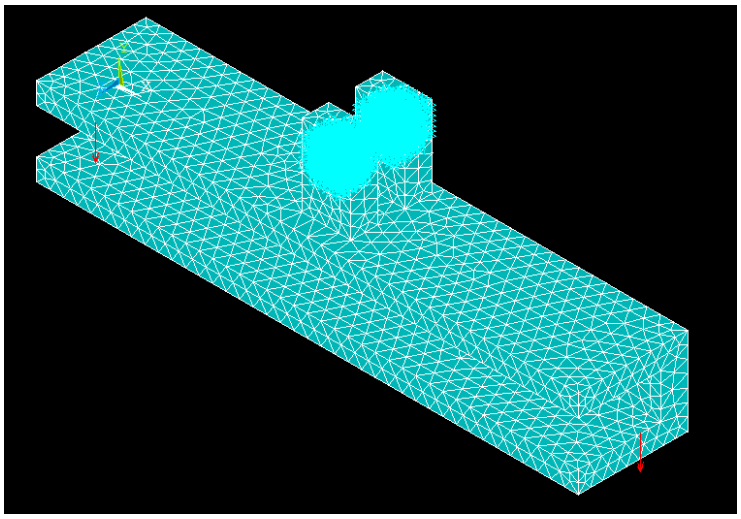


Ilustración 62. Bloque principal con restricciones de movimiento y cargas

En el programa se comprobó que la tensión equivalente de Von Mises están muy por debajo de los valores máximos que puede resistir la pieza.

Se adjunta la imagen correspondiente al diagrama de desplazamientos sobre el eje y, que es la finalidad de este apartado. Como es evidente, los extremos del bloque son los que sufren los mayores descensos, en concreto los del extremo de la "c", permaneciendo el centro de la pieza con desplazamientos mínimos.

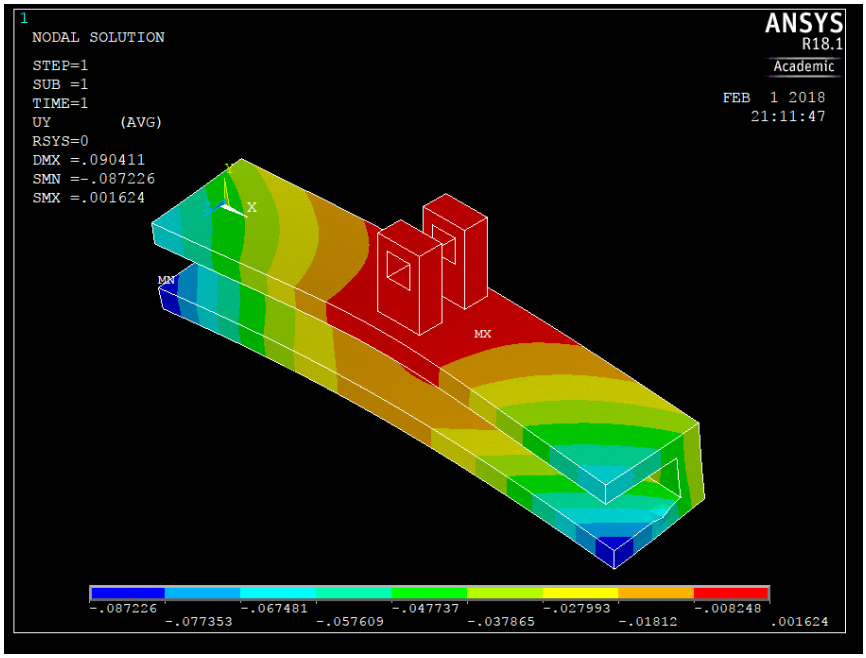


Ilustración 63. Desplazamientos verticales del bloque principal

El descenso máximo que sufre la pieza es de: 0,087 mm.

3 Direcciones, velocidades y aceleraciones

La garra se mueve en el espacio en las tres direcciones (x, y, z). Las vigas testeras (en gris en la foto) provocan el movimiento de traslación en el eje x. El carro-polipasto (en rojo) permite la dirección sobre el eje y. Por último, el propio carro-polipasto (en rojo) es el encargado de hacer elevar o descender la carga a lo largo del eje z.

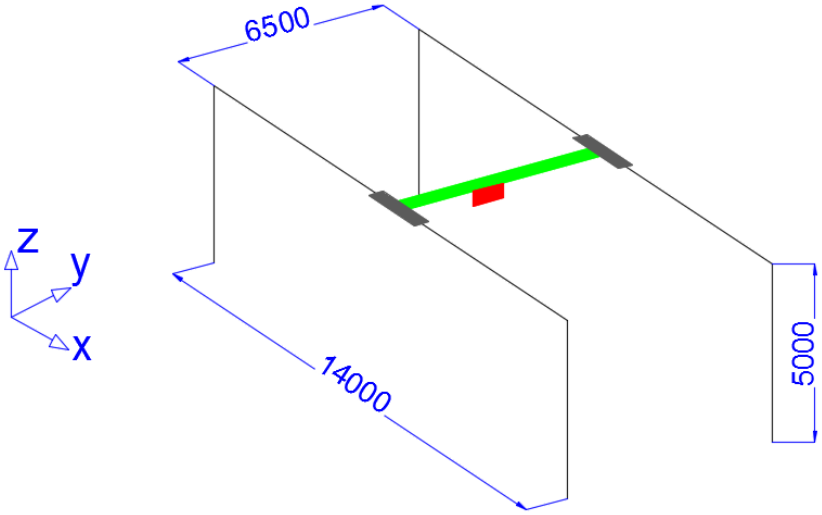


Ilustración 64. Espacio de movimiento de la garra

Cada uno de estos movimientos requiere unas velocidades y aceleraciones específicas que se deben seleccionar para los cálculos posteriores. Además, los sistemas de movimiento son similares.

3.1 Mecanismo de elevación

- Se desarrolla sobre el eje z

- Un motorreductor acciona un tambor que recoge (eleva la garra) o dispensa (desciende la garra) cable.

El desplazamiento total realizado por la garra es de 4 metros.

Este desplazamiento se realizará en tres tramos. Uno inicial que partiendo de velocidad nula acelere uniformemente hasta la velocidad máxima. En el segundo tramo se mantendrá esta velocidad máxima uniforme hasta llegar al tercer tramo, donde el brazo comience un movimiento rectilíneo uniformemente decelerado hasta llegar a la velocidad cero.

Tabla B 10.1.Velocidad de elevación de un puente grúa de clase de elevación 2, grupo de carga 2.

Capacidad de carga (T)	Distancia vertical máxima (m)	Elevación principal (m/min)	Elevación de precisión (m/min)
0,5	3	15	4
1	5,5 11	5 8	1,25 2
2	3,5 7	5 10	0,5 1
5	3,5 7 8	4 8 12	0,4 0,8 1,2
8	3,5 12	5 12	0,5 1,2
10	3,5	4	0,4
16	6	4	0,6
20	6	5	0,5
25	6	6	0,6

Tabla 17. Velocidad de elevación de un puente grúa

La velocidad máxima alcanzada durante el movimiento será de 5 m/min = 83,333 mm/s

Esta velocidad máxima se alcanzará tras haber recorrido 250 mm. La desaceleración comprenderá el mismo margen de espacio y tiempo.

- <u>Tiempo total del proceso, aceleración y desaceleración</u>

El cálculo de la aceleración se realiza en el espacio en que es constante, es decir, durante dos segundos.

$$x(t) = x_0 + v_0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}; ecuación\ del\ espacio$$

$$v(t) = v_0 + a \cdot t$$

Transcribiendo los datos:

$$250 = 0 + 0 \cdot t + \frac{a \cdot t^2}{2}$$

$$83{,}3 = 0 + a \cdot t$$

Resolviendo se tiene:

t = 6 s; 6 segundos de aceleración
a = 13,8888 mm/s^2; aceleración

La duración total del desplazamiento del brazo es de:

Tramo 1 = 6 segundos
Tramo 2 = (4000-250-250) / 83,33 = 42 segundos
Tramo 3 = 6 segundos
TOTAL= 54 segundos

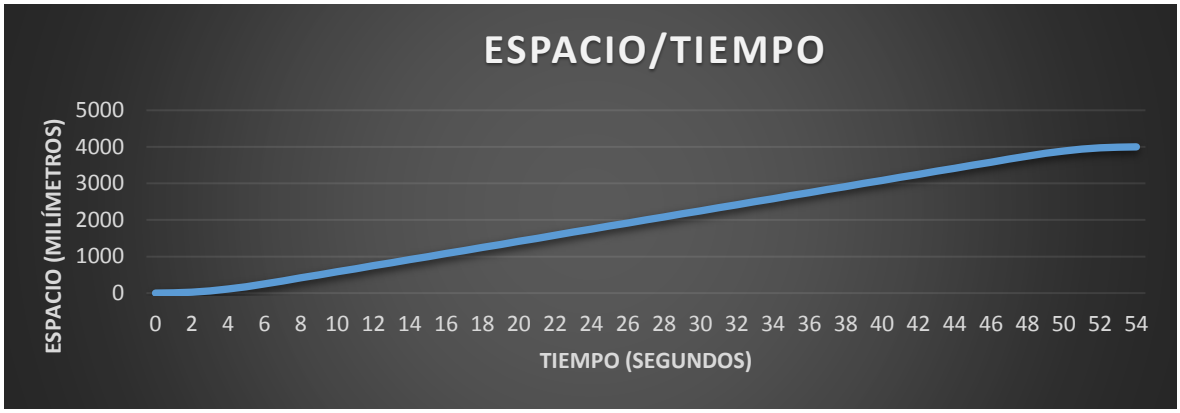


Ilustración 65. Gráfica espacio-tiempo del movimiento de elevación

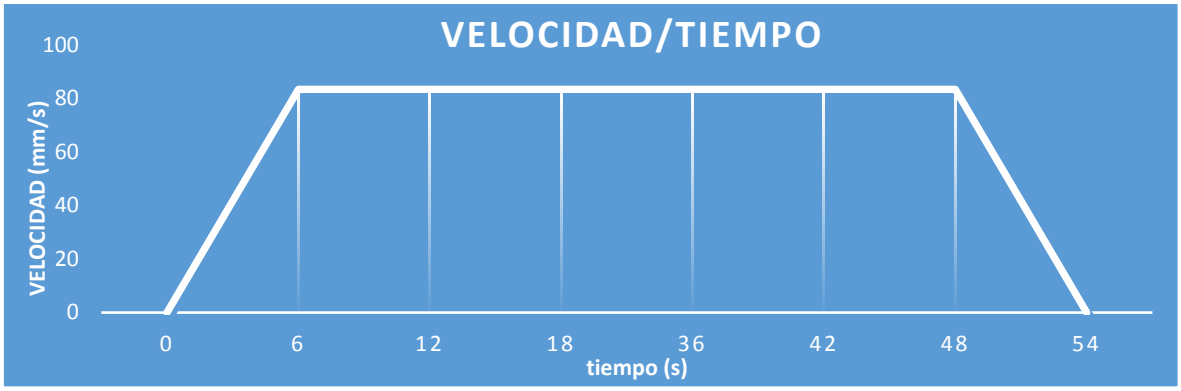


Ilustración 66. Gráfica velocidad-tiempo del movimiento de elevación

3.2 Movimiento de orientación del carro

- Se desarrolla sobre el eje y
- Un motorreductor acciona una rueda que permite el desplazamiento del carro.
- El sistema se incorpora en el carro-polipasto.

Las velocidades de los distintos movimientos son variables indispensables en el cálculo de las solicitaciones estructurales de la grúa puesto que de ellas dependen los efectos dinámicos.

Los valores de las velocidades son una hipótesis ya que dependen de numerosos factores tales como la fricción entre las ruedas y la viga carrilera, o el peso y la potencia de los motores eléctricos, por nombrar algunas. Para garantizar la fiabilidad de los cálculos se han tomado valores tales que se encuentran en el rango de velocidades de las maquinarias de las empresas líderes de mercado.

Movimiento	Velocidad(m/min)	Velocidad(m/s)
Elevación de carga	8/2.6	0.133/0.0433
T. Puente	40/10	0.66/0.166
T. Carro	20/5	0.33/0.083

Ilustración 67. Velocidades de los distintos movimientos

Para la traslación del puente y del carro se establecen las mismas velocidades. Ambos se moverán a una velocidad máxima de 15 m/min = 0,25 m/s.

Un factor muy importante a la hora de diseñar la estructura es la aceleración con la que se van a realizar los movimientos del puente grúa. Al desconocerse con exactitud y precisión el valor de estas aceleraciones, se ha recurrido a la tabla siguiente que se encuentra en el prontuario de ENSIDESA.

En ella se recogen los valores medios de las aceleraciones/deceleraciones para 3 condiciones de explotación.

Velocidad	1 Velocidad lenta y media con gran recorrido		2 Velocidad media y rápida (aplicaciones corrientes)		3 Velocidad rápida con fuertes aceleraciones	
m/s	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s²	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s²	Duración de la aceleración s	Aceleración media m/s²
4,00			8,0	0,50	6,0	0,67
3,15			7,1	0,44	5,4	0,58
2,50			6,3	0,39	4,8	0,52
2,00	9,1	0,22	5,6	0,35	4,2	0,47
1,60	8,3	0,19	5,0	0,32	3,7	0,45
1,00	6,6	0,15	4,0	0,25	3,0	0,33
0,63	5,2	0,12	3,2	0,19		
0,40	4,1	0,098	2,5	0,16		
0,25	3,2	0,078				
0,16	2,5	0,064				

Tabla 18. Valores de aceleración

Por motivos de seguridad se ha estandarizado el valor de la aceleración, escogiéndose para los dos movimientos (viga principal y carro móvil) un valor de 0,078 m/s^2. La duración de la aceleración es de 3,2 segundos.

3.3 Movimiento de traslación del puente.

- Se desarrolla sobre el eje x
- Un motorreductor acciona una rueda que permite el desplazamiento del carro.
- El sistema se incorpora en las vigas testeras.

Como se refleja en el apartado anterior, la velocidad de traslación del puente será de 0,25 m/s y la aceleración de 0,078 m/s^2 (durante 3,2 segundos).

4 Diseño del carro-polipasto

En este apartado se estudia el sistema con el que se elevará y descenderá la carga. El sistema deberá ir unido por su extremo inferior a la garra mediante un gancho. Este gancho irá unido a una unidad dividida en 3 subconjuntos. La parte central de esta unidad se corresponde con un bloque que permite la alineación de las poleas y la sujeción del gancho y en cada uno de los lados se ubicarán las mencionadas poleas que es sobre las que trabajará el cable. Estos cables se recogerán en un tambor cilíndrico movido por un motor (todo ello apoyado sobre el carro que se mueve sobre unas ruedas a lo largo de la viga principal).

El carro-polipasto se adquiere por completo a un fabricante. El proveedor será GH CRANES & COMPONENETS. Aun así, es necesario realizar ciertos cálculos que permitan escoger un carro-polipasto lo más adecuado a la aplicación.

En primer lugar, se estudia la disposición de los cables.

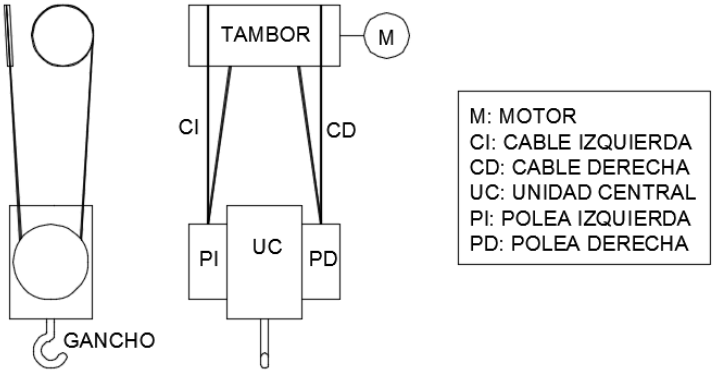


Ilustración 68. Esquema del mecanismo de elevación

El hecho de elevar la carga mediante dos cables equidistantes permite una mayor estabilidad de la carga, que es uno de los requisitos a cumplir en el proyecto, dado que la automatización de la aplicación requiere de una gran precisión.

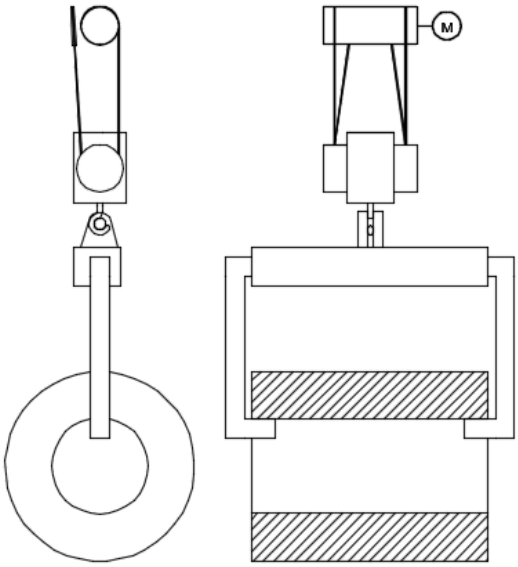
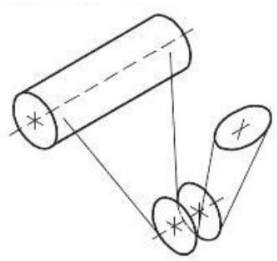


Ilustración 69. Esquema mecanismo de elevación-garra-bobina

Esta disposición del cable o tipo de aparejado determina el tipo de polipasto montado. Se elige el modelo 4/2 ya que es el que monta el fabricante para el tipo de grúa y para la carga que queremos levantar.



4.1 Diseño de los cables

El cable es el elemento que transmitirá la potencia del motor colocado en el carro de la viga principal a la garra, para que ésta ascienda o descienda.

Los cables metálicos se fabrican según dos tipos de torcidos o torzal. El **torzal regular**, que es de uso más común, tiene los alambres torcidos en un sentido para formar los torones (o cordones), y estos se tuercen en sentido contrario para formar el cable. En el cable terminado, todos los alambres quedan aparentemente paralelos al eje del cable. Los cables de torzal regular no se retuercen (forman cocas) o destuercen, y son fáciles de manejar. Estas propiedades son las que requiere la aplicación, por lo que los cables de la grúa se fabricarán en torzal regular.

Los cables de ***torzal Lang*** tienen los alambres de cada torón y los torones que forman el cable, torcidos en el mismo sentido y, por tanto, los alambres se ven exteriormente en dirección diagonal según el eje del cable. Este tipo de cables es más resistente al desgaste por abrasión y a la falla por fatiga que los de torzal regular, pero tienen más tendencia a formar cocas y a destorcerse.

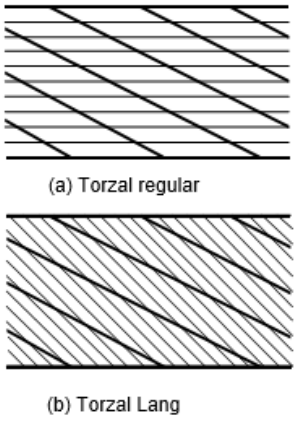


Ilustración 70. Tipos de trenzado de cables

Es conveniente recordar ciertos conceptos referentes a los cables. Su sección transversal está compuesta por un núcleo llamado alma. Sobre ésta, se trenzan los cordones o torones, que están compuestos por alambres finos. Para distinguir estos diámetros, así como el del tambor se emplean las siguientes variables:

D = diámetro del tambor (empleado solo en los cálculos del cable)
d = diámetro del cable
d_w = diámetro del alambre

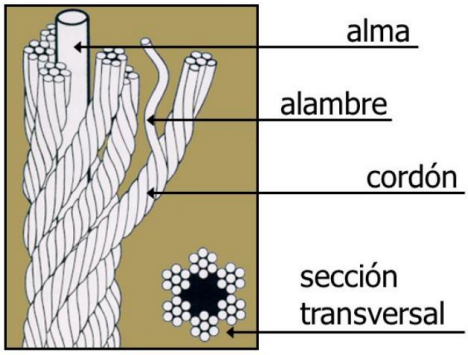


Ilustración 71. Sección transversal de un cable

El diseño se realiza determinando en primer lugar la carga, que proporcionará los dos coeficientes de seguridad estáticos. A continuación, se calculará la vida útil, que proporcionará el coeficiente de seguridad a la fatiga. Se realizará un rediseño a partir de los datos obtenidos, y una vez obtenido el cable final, se calcula el alargamiento por efecto de la carga, así como la presión de apoyo sobre el tambor.

En ambos casos se deberá superar el coeficiente de seguridad mínimo para cables de acero.

Cables de vía	3.2	Para ascensores de pasajeros	
Tirantes	3.5	50	7.60
Tiros de mina		300	9.20
Hasta 500	8.0	800	11.25
1000-2000	7.0	1200	11.80
2000-3000	6.0	1500	11.90
Más de 3000	5.0	Para elevadores de carga	
De izaje	5.0	50	6.65
De arrastre	6.0	300	8.20
Para grúas y cabrías	6.0	800	10.00
Para montacargas eléctricos	7.0	1200	10.50
Para elevadores manuales	5.0	1500	10.55
Para elevadores privados	7.5	Para volcadores motorizados	
Para volcador manual	4.5	50	4.8
Para elevadores de granos	7.5	300	6.6
		500	8.0

*El uso de estos factores no impide una falla por fatiga.
Fuente: Recopilada de una variedad de fuentes incluyendo la norma ANSI A17.1-1978.

Tabla 19. Factor de seguridad para cables

Por tanto, se tiene CS = 6.

4.1.1 Tensión sobre los cables

La masa total que elevar es la suma entre los componentes de la garra, la bobina y la unidad central.

$$masa_{TOTAL} = m_{bobina} + 2 \cdot m_{brazo} + 4 \cdot m_{deslizader} + 2 \cdot m_{piñón} + 2 \cdot m_{eje} + 4 \cdot m_{rodamiento} + m_{carcasa} + 2 \cdot m_{reductor} + 2 \cdot m_{servo} + m_{bloque\_principal} + m_{UC}$$

m_{UC}; masa de la unidad central
La masa de la unidad central es desconocida. Engloba el peso de la garra, el sistema de giro (si se introdujera alguna vez), así como las poleas. Se establece un peso de 140 kg, una cifra que de ninguna manera pueda superar esta unidad.

$$masa_{TOTAL} = 1000 + 2 \cdot 48{,}7 + 4 \cdot 1{,}9 + 4 \cdot 0{,}8 + 2 \cdot 0{,}2 + 2 \cdot 0{,}2 + 4 \cdot 0{,}15 + 10{,}5 + 2 \cdot 7{,}2 + 2 \cdot 17{,}5 + 166{,}5 + 140 = 1496{,}5\ kg \approx 1500\ kg$$

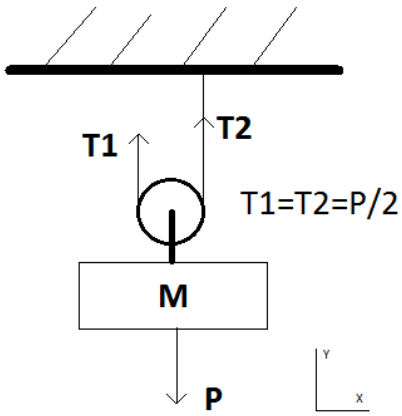


Ilustración 72. Tensiones sobre los tramos de cable

Cada cable soporta la mitad de esta carga. Además, el sistema de poleas faculta que la tensión o fuerza de cada tramo de cable se vea reducido a la mitad. De este modo la fuerza de tracción a la que está sometido cada tramo del cable (4 en total) es igual a:

$$T_1 = T_2 = m \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 = 1500 \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot 10 = 3750\ N$$

4.1.2 Primer diseño

Sobre el cable actúan una serie de esfuerzos (flexión, trabajo, fuerza última, fatiga). Las relaciones entre estas fuerzas darán lugar al coeficiente de seguridad del cable, que debe ser mayor o igual a 6.

Para hallar estas fuerzas se necesitan una serie de datos que se recopilan a continuación.

Carga = Q = 3750 N = 843 lbf

Tiro de profundidad = l = 4 m = 13,12 ft

Máximo de flexiones = 150000 (se detalla el resultado en 4.1.2.4)

Polea doble

Velocidad máxima de izaje: 83,33333 mm/s

Aceleración máxima de izaje: 13,8 mm/s^2

CABLE	PESO POR PIE lbf	DIAMETRO MINIMO DE POLEA D in	TAMAÑOS ESTANDARES d, in	MATERIAL	TAMAÑO DE ALAMBRES EXTERIORES	MODULO DE ELASTICIDAD* Mpsi	RESISTENCIA,† Kpsi
6 X 7 de arrastre	$1.50d^2$	42d	1/4 - 1 1/2	Acero monitor	d/9	14	100
				Acero de arado	d/9	14	88
				Acero de arado dúctil	d/9	14	76
6 x 19 de izaje normal	$1.60d^2$	26d - 34d	1/4 - 2 3/4	Acero monitor	d/13 - d/16	12	106
				Acero de arado	d/13 - d/16	12	93
				Acero de arado dúctil	d/13 - d/16	12	80
6 x 37, flexible especial	$1.55d^2$	18d	1/4 - 3 1/2	Acero monitor	d/22	11	100
				Acero de arado	d/22	11	88
8 x 19, flexible extra	$1.45d^2$	21d - 26d	1/4 - 1 1/2	Acero monitor	d/15 - d/19	10	92
				Acero de arado	d/15 - d/19	10	80
7 x 7, para avión	$1.70d^2$	—	1/16 - 3/8	Acero resistente a la corrosión	—	—	124
				Acero al carbono	—	—	124
7 x 9, para avión	$1.75d^2$	—	1/8 - 1 3/8	Acero resistente a la corrosión	—	—	135
				Acero al carbono	—	—	143
De 19 alambres, para avión	$2.15d^2$	—	1/32 - 5/16	Acero resistente a la corrosión	—	—	165
				Acero al carbono	—	—	165

*El módulo de elasticidad es sólo aproximado; depende de las cargas y, en general, aumenta con la duración o vida útil del cable.

†La resistencia se basa en el área transversal nominal del cable. Las cifras dadas son sólo aproximadas y se basan en cables de 1 in y en cables para avión de 1/4 in.

Fuente: Recopilado de American Steel and Wire Company Handbook.

Tabla 20. Datos de cables metálicos

De entre todos los modelos de cable expuestos en la Tabla 20 se escoge el 8 x 19 flexible EXTRA acero monitor. Comenzamos por escoger la menor medida posible para el diámetro de este cable, que es de:

d = 0,25 plg

A partir de este dato, se obtienen las distintas características del cable atendiendo a la Tabla 20.

$$D = 26 \cdot d = 26 \cdot 0{,}25 = 6{,}5\ plg$$

$$d_w = \frac{d}{15} = \frac{0{,}25}{15} = \frac{1}{60}\ plg$$

$$Peso\ por\ PIE = 1{,}45 \cdot d^2 = 1{,}45 \cdot 0{,}25^2 = 0{,}09\ lgf/pie$$

$$E_{cable} = 10000000\ psi$$

$$S_{ultCABLE} = 80000\ psi$$

4.1.2.1 Fuerza de trabajo

$$F_t = \sum Q \cdot \left(1 + \frac{a}{g}\right)$$

a = aceleración [mm/s²]
g = gravedad [mm/s²]
Q = carga = W + w*l (peso a elevar + peso del cable) [lbf]

$$F_t = (843 + 13{,}1234 \cdot 0{,}09) \cdot \left(1 + \frac{13{,}8}{9800}\right) = 845{,}37\ lbf$$

4.1.2.2 Fuerza de flexión

$$F_b = \sigma_b \cdot A_m = \frac{E \cdot d_w}{D} \cdot 0{,}38 \cdot d^2$$

$$F_b = \sigma_b \cdot A_m = \frac{10000000 \cdot \frac{1}{60}}{6{,}5} \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}25^2 = 608{,}97\ lgf$$

4.1.2.3 Fuerza última

También se denomina fuerza de rotura del cable, y tiene la siguiente expresión matemática.

$$F_{ult} = \% \cdot S_{ultCABLE} \cdot A = \% \cdot S_{ultCABLE} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$$

$$F_{ult} = \% \cdot S_{ult_{cable}} \cdot A = \% \cdot S_{ult_{cable}} \cdot \left(\frac{\pi \cdot d^2}{4}\right)$$

% = reducción (se aplica un porcentaje de reducción según la Tabla 21)

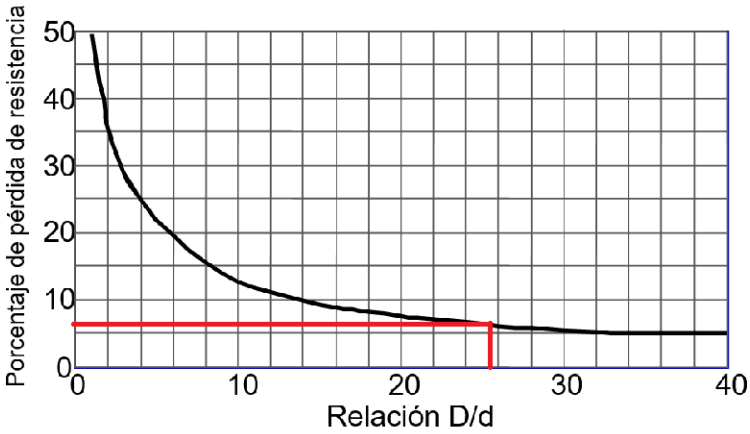


FIGURA A5.4

Porcentaje de pérdida de resistencia debido a diferentes relaciones D/d, se dedujo a partir de datos normales de prueba para cables de clases 6x19 y 6x17. (Tomado de Wire Rope User Manual; reproducido con autorización de American Iron and Steel Institute.)

Tabla 21. Porcentaje de pérdida de resistencia debido a la relación: D/d en %

La relación $\frac{D}{d} = 26$, da lugar a un porcentaje de reducción del 6 %

$$F_{ult} = 0{,}94 \cdot 80000 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0{,}25^2}{4}\right) = 1137{,}5 \cdot \pi\ lbf$$

4.1.2.4 Fuerza límite de fatiga

$$F_f = \frac{\left(\frac{P}{S_{ult}}\right) \cdot d \cdot D \cdot S_{ultALAMBRE}}{2}$$

$S_{ultALAMBRE}$ = tensión última del alambre (se escoge el menor valor para salvaguardar las deficiencias que pudiera tener el material)

TIPOS DE ALAMBRES	RESISTENCIAS ÚLTIMAS
Acero de ARADO DÚCTIL	180 < Su < 210 Kpsi (Klibra/pulg^2)
Acero de ARADO	210 < Su < 240 Kpsi (Klibra/pulg^2)
Acero de ARADO MEJORADO (Monitor)	240 < Su < 280 Kpsi (Klibra/pulg^2)

Tabla 22. Datos guía de tensión última de algunos alambres

$S_{ultALAMBRE} = 240\ Kpsi$

$\left(\frac{P}{S_{ult}}\right)$ = relación entre la duración a fatiga del cable y la presión de apoyo en la polea.

Para hallar este valor se emplea la Tabla 23.

En primer lugar, se debe conocer la vida útil del cable, es decir, el número de flexiones a la que va a estar sometido hasta la falla. Estos cables van a recibir un mantenimiento preventivo (lubricación, revisión) y van a ser cambiados a los 10 años. Durante estos 10 años el cable se flexionará un promedio de 150000 veces.

Se procesan una media de 27 bobinas diariamente, lo que implica dos movimientos (uno de deposición en el área de almacenamiento, y otra de puesta en la cortadora o en la formadora de complejo). La fábrica está operativa durante 5 días a la semana, por tanto:

$$N = (27 \cdot 2)\frac{flexiones}{día} \cdot 5\frac{días}{semana} \cdot 52semanas \cdot 10años = 140400\ \approx 150000\ flexiones$$

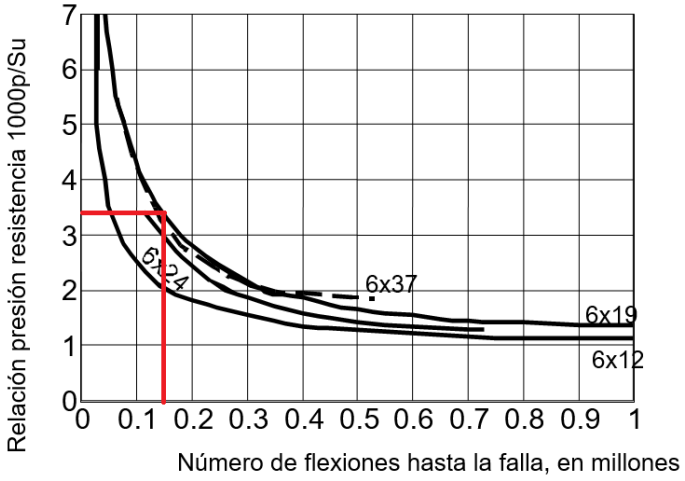


Tabla 23. Relación determinada experimentalmente entre la duración a la fatiga del cable de acero y la presión de apoyo de la polea

$$F_f = \frac{0{,}0034 \cdot 0{,}25 \cdot 6{,}5 \cdot 240000}{2} = 663\ lbf$$

4.1.3 Comprobación de los coeficientes de seguridad

4.1.3.1 Coeficiente de seguridad estático

$CS_{estático} = 6$

$$CS_{est\_real} = \frac{F_{ult} - F_b}{F_t} = \frac{1137{,}5 \cdot \pi - 608{,}97}{845{,}37} = 3{,}5$$

El coeficiente de seguridad estático es de 3,5. Este valor es insuficiente (3,5 < 6), por lo que se debe realizar un rediseño.

4.1.3.2 Coeficiente de seguridad a la fatiga

Este coeficiente se verá incrementado por la curva de la Tabla 24, que relaciona la relación $\frac{D}{d} = 26$ con la duración de servicio relativa.

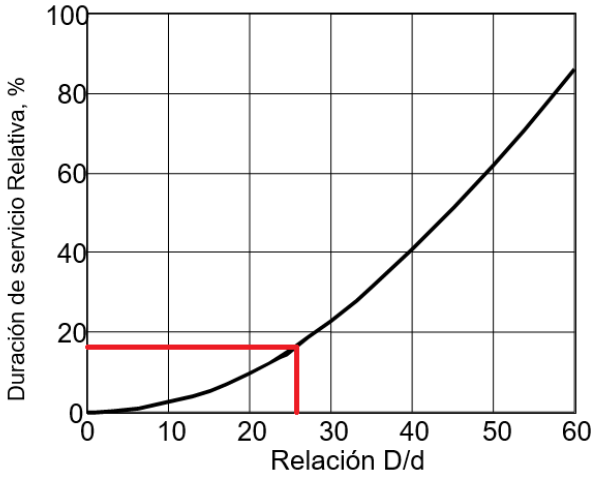


Tabla 24. Curva para determinar el incremento del coeficiente de seguridad a fatiga.

Según el gráfico, se debe incrementar el CS en un 17 %.

CS_{fatiga} = 6 + 6*0,17=7,02

$$CS_{fat\_real} = \frac{F_f}{F_t} = \frac{663}{845{,}37} = 0{,}78$$

El resultado obtenido en el coeficiente de seguridad a fatiga es muy deficiente. El rediseño se realizará prestando especial atención a este coeficiente.

4.1.4 Rediseño

El rediseño se va a llevar a cabo a partiendo del coeficiente de seguridad a fatiga. Superado este coeficiente, se presupone que el estático se corregirá de igual modo.

$$CS_{fatiga} = \frac{F_f}{F_t} = \frac{F_f}{845{,}37} = 7{,}02 \Longrightarrow F_f = 7{,}02 \cdot 845{,}37 = 5934{,}5\ lbf$$

4.1.4.1 Coeficiente de seguridad a la fatiga

$$F_f = \frac{\left(\frac{p}{S_{ult}}\right) \cdot d \cdot d \cdot 26 \cdot S_{ult_{alambre}}}{2} = 5934{,}5 = \frac{0{,}0034 \cdot d \cdot d \cdot 26 \cdot 240000}{2} \Rightarrow d = 0{,}747$$

d = 0,8 plg

Se escogen 0,8 pulgadas en vez de 0,75 porque la fuerza de trabajo va a aumentar también; un aumento en el diámetro del cable supone un aumento del peso del mismo.

$$F_f = \frac{0{,}0034 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}8 \cdot 26 \cdot 240000}{2} = 6789{,}12$$

$$CS_{fatiga} = \frac{F_f}{F_t} = \frac{6789{,}12}{856{,}38} = 7{,}92 \Longrightarrow 7{,}92 > 7{,}02$$

Aumentando el diámetro del cable a 0,75 pulgadas se consigue un comportamiento adecuado a fatiga. Se comprueba para el coeficiente de seguridad estático.

4.1.4.2 Coeficiente de seguridad estático

Se recalculan los valores del alambre y de la polea y tambor:

$$D = 26 \cdot d = 26 \cdot 0{,}8 = 20{,}8\ plg$$

$$d_w = \frac{d}{15} = \frac{4}{75}\ plg$$

$$F_b = \frac{10000000 \cdot \frac{4}{75}}{20{,}8} \cdot 0{,}38 \cdot 0{,}8^2 = 6235{,}9\ lbf$$

$$F_{ult} = 0{,}91 \cdot 80000 \cdot \left(\frac{\pi \cdot 0{,}8^2}{4}\right) = 11648 \cdot \pi \; lbf$$

$$F_t = (843 + 13{,}1234 \cdot 1{,}45 \cdot 0{,}8^2)\left(1 + \frac{13{,}8}{9800}\right) = 856{,}38 \; lbf$$

$$CS_{estático} = \frac{F_{ult} - F_b}{F_t} = \frac{11648 \cdot \pi - 6235{,}9}{856{,}38} = 35{,}44 > 6$$

Como era previsible, se cumple el coeficiente de seguridad estático.

4.1.4.3 Presión de apoyo del cable sobre el tambor

$$p = \frac{2 \cdot F_t}{d \cdot D} = \frac{2 \cdot 856{,}38}{0{,}8 \cdot 20{,}8} = 102{,}9 \; \frac{lb}{plg^2}$$

CABLE	MADERA[a]	HIERRO FUNDIDO[b]	ACERO FUNDIDO[c]	HIERROS FUNDIDOS EN FRIO[d]	ACEROS AL MANGANESO[e]
Torzal regular					
6 x 7	150	300	550	650	1470
6 x 19	250	480	900	1100	2400
6 x 37	300	585	1075	1325	3000
8 x 19	350	680	1260	1550	3500
Torzal Lang					
6 x 7	165	350	600	715	1650
6 x 19	275	550	1000	1210	2750
6 x 37	330	660	1180	1450	3300

[a] En grano de extremo de madera de haya, nogal americano o de goma.
[b] Para H_B (min) = 125.
[c] 30-40 al carbono; H_B (min) = 160.
[d] Usese sólo con dureza superficial uniforme.
[e] Para altas velocidades con poleas balanceadas que tengan superficies rectificadas (o esmeriladas).
Fuente: Wire Rope Users Manual, AISI, 1979.

Tabla 25. Presión de apoyo máxima permisible de cables sobre poleas

EL cable escogido es torzal regular 8 x 19. La presión de apoyo máxima según la Tabla 25 no se supera para ninguno de los materiales. Se escoge hierro fundido. P_{max} = 550 > 102,9

4.1.4.4 Alargamiento del cable por efecto de la carga

En apartados anteriores se ha calculado el movimiento vertical producido en los distintos elementos susceptibles de que la carga provoque un descenso vertical. El cable es un elemento que también sufre alargamiento. Su cálculo resulta de la diferencia entre el alargamiento con la garra descargada y cargada.

$$\delta_{descargada} = \frac{W \cdot L}{A_m \cdot E}$$

W = es el peso que soporta cada cable excluyendo la bobina [N]

$$W = 500 \cdot 0{,}5 \cdot 0{,}5 \cdot 10 = 1250\ N$$

L = longitud del cable [mm] = 4000 mm

A_m = área metálica en cablerería [mm^2]

$$A_m = 0{,}38 \cdot d^2 = 0{,}38 \cdot 20^2 = 152\ mm^2$$

E = módulo de elasticidad del cable [MPa] = 68947,57 MPa

$$\delta_{descargada} = \frac{1250 \cdot 4000}{152 \cdot 68947{,}57} = 0{,}477\ mm$$

$$\delta_{cargada} = \frac{3750 \cdot 4000}{245{,}16 \cdot 68947{,}57} = 1{,}4313\ mm$$

El alargamiento que sufrirá el cable al cargar la bobina en el punto más bajo será de:

$$\delta = \delta_{cargada} - \delta_{cargada} = 1{,}4313 - 0{,}4770 = 0{,}9543\ mm$$

4.2 Selección del gancho

De entre los diferentes tipos de ganchos (gancho simple, doble, de hojas o de seguridad), se utiliza el gancho simple, que es el adecuado para grúas de capacidad de carga media o baja. Se realiza en acero mediante una operación de forja o estampado.

Los ganchos sencillos para grúas se encuentran normalizados bajo las normas DIN 15401 y su elección se realiza en función del grupo de carga, la clase de resistencia que depende del material empleado para fabricar el gancho y de la capacidad de carga máxima requerida para elevar la carga.

- Diámetro eje bloque principal: 42 mm
- Grupo de carga: al no existir tiempo de reposo, 5m
- Clase de resistencia: S
- Capacidad de carga 5000 [kg]

Los materiales con los que se realizan los ganchos están normalizados por las normas DIN 17102, 17103 y 17200, para las distintas clases de resistencia y número de gancho como se observa en tabla 6. El gancho seleccionado presenta las siguientes características:

- Gancho seleccionado: Nº 2,5 con 42 mm de diámetro del vástago y material 34CrMo4.
- Capacidad de carga de 2500 kg. Grupo de carga 5m/M8.

El esquema, así como las dimensiones del gancho se encuentran a continuación.

Ganchos de Carga Nº.	Diametro del vástago d1 mm	Aceros según: DIN17102 y DIN17103		DIN17102, DIN17103 y DIN17200 2)			Ganchos de Carga Nº
		Para clases de resistencia:					
		M	P	S	T	V	
006	14						006
010	16						010
012							012
020	20						020
025					StE-500 34 CrMo 4	34 Cr Mo4	025
04	24						04
05							05
08	30						08
1		StE-285 3)	StE-355	StE-420 34 CrMo 4			1
1,6	36						1,6
2,5	42						2,5
4	48						4
5	53						5
6	60						6
8	67						8
10	75				34 CrMo 4	34 CrNiMo 6	10
12	85						12
16	95						16
20	106						20
25	118						25
32	132						32
40	150						40

Tabla 26. Distintos materiales y grupos de resistencia para los ganchos

CLASE DE RESISTENCIA	GRUPOS DE CARGA										CLASE DE RESISTENCIA
M ISO/FEM	-	-	-	-	1Bm/M3	1Am/M4	2m/M5	3m/M6	4m/M7	5m/M8	M ISO/FEM
P ISO/FEM	-	-	-	1Bm/M3	1Am/M4	2m/M5	3m/M6	4m/M7	5m/M8	-	P ISO/FEM
S ISO/FEM	-	-	1Bm/M3	1Am/M4	2m/M5	3m/M6	4m/M7	5m/M8	-	-	S ISO/FEM
T ISO/FEM	-	1Bm/M3	1Am/M4	2m/M5	3m/M6	4m/M7	-	-	-	-	T ISO/FEM
V ISO/FEM	1Bm/M3	1Am/M4	2m/M5	3m/M6	4m/M7	-	-	-	-	-	V ISO/FEM
GANCHO Nº	CAPACIDAD DE CARGA (Kg.)										GANCHO Nº
0,8	4.000	3.200	2.500	2.000	1.600	1.250	1.000	800	630	500	0,8
1	5.000	4.000	3.200	2.500	2.000	1.600	1.250	1.000	800	630	1
1,6	8.000	6.300	5.000	4.000	3.200	2.500	2.000	1.600	1.250	1.000	1,6
2,5	12.500	10.000	8.000	6.300	5.000	4.000	3.200	2.500	2.000	1.600	2,5
4	20.000	16.000	12.500	10.000	8.000	6.300	5.000	4.000	3.200	2.500	4
5	25.000	20.000	16.000	12.500	10.000	8.000	6.300	5.000	4.000	3.200	5
6	32.000	25.000	20.000	16.000	12.500	10.000	8.000	6.300	5.000	4.000	6
8	40.000	32.000	25.000	20.000	16.000	12.500	10.000	8.000	6.300	5.000	8
10	50.000	40.000	32.000	25.000	20.000	16.000	12.500	10.000	8.000	6.300	10
12	63.000	50.000	40.000	32.000	25.000	20.000	16.000	12.500	10.000	8.000	12
16	80.000	63.000	50.000	40.000	32.000	25.000	20.000	16.000	12.500	10.000	16
20	100.000	80.000	63.000	50.000	40.000	32.000	25.000	20.000	16.000	12.500	20
25	125.000	100.000	80.000	63.000	50.000	40.000	32.000	25.000	20.000	16.000	25
32	160.000	125.000	100.000	80.000	63.000	50.000	40.000	32.000	25.000	20.000	32
40	200.000	160.000	125.000	100.000	80.000	63.000	50.000	40.000	32.000	25.000	40
50	250.000	200.000	160.000	125.000	100.000	80.000	63.000	50.000	40.000	32.000	50
63	320.000	250.000	200.000	160.000	125.000	100.000	80.000	63.000	50.000	40.000	63
80	400.000	320.000	250.000	200.000	160.000	125.000	100.000	80.000	63.000	50.000	80
100	500.000	400.000	320.000	250.000	200.000	160.000	125.000	100.000	80.000	63.000	100
125	-	500.000	400.000	320.000	250.000	200.000	160.000	125.000	100.000	80.000	125
160	-	-	500.000	400.000	320.000	250.000	200.000	160.000	125.000	100.000	160
200	-	-	-	500.000	400.000	320.000	250.000	200.000	160.000	125.000	200
250	-	-	-	-	500.000	400.000	320.000	250.000	200.000	160.000	250

Tabla 27. Número de ganchos en función de la capacidad de carga, resistencia y grupo de carga

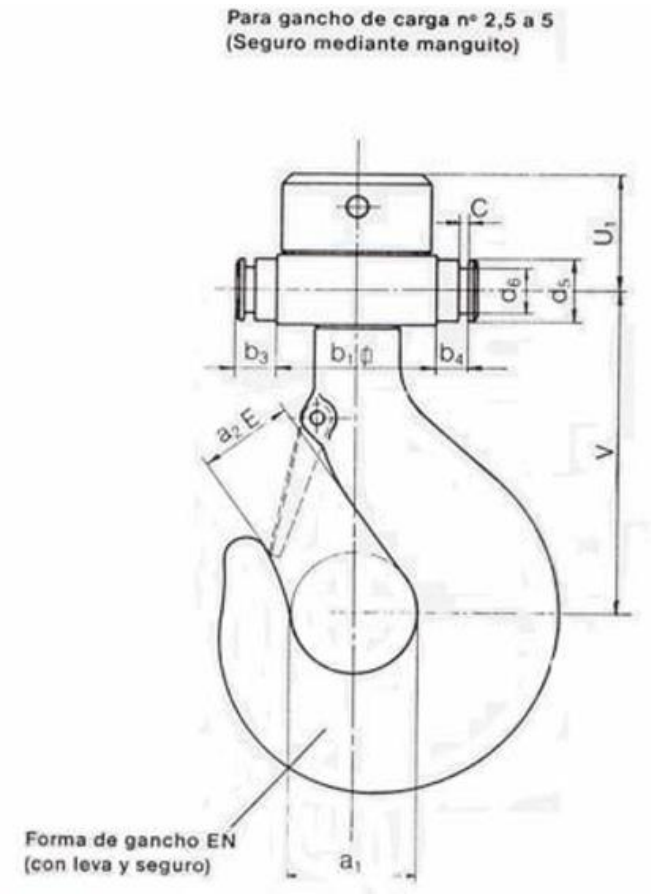


Ilustración 73. Forma del gancho y dimensiones

Gancho Nº	a_1	a_2E	a_2D	b_1	b_3	b_4	c	d_3	d_5	d_6	s	v	Rodam.	Peso	Referencia
2,5	63	50	40	80	22,5	17	8	M36	30	19	10	170	51108	9	001.2,5
4	71	56	45	90	25	19	8	M42	35	23	12	190	51110	14	001.4
5	80	63	50	100	27,5	22	8	M45	40	27	15	210	51112	20	001.5
6	90	71	56	125	30	24	10	M50	45	32	15	240	51214	29	001.6
7	100	80	63	140	35	29	10	M56	50	36	20	265	51216	40	001.8
10	112	90	71	160	35	29	10	M64	55	40	20	280	51218	57	001.10
12	125	100	80	180	42,5	34	10	M72	60	42	25	315	51220	85	001.12
16	140	112	90	190	42,5	36	12	M80	70	50	25	370	51222	110	001.16
20	160	125	100	200	47,5	41	12	M90	80	56	30	415	51224	160	001.20
52	180	140	112	220	49	41	12	M100	90	64	30	460	51226	228	001.25
32	200	160	125	160	59	51	12	M110	100	72	40	500	51232	312	001.32
40	224	180	140	285	65	58	14	M125	110	80	45	565	51236	445	001.40
50	250	200	160	335	65	58	14	M140	125	92	45	620	51244	612	001.50
63	280	224	180	380	71	63	14	M160	140	104	50	700	51248	870	001.63
80	315	250	200	420	72,5	63	14	M180	160	120	50	800	51256	1230	001.80
100	355	280	224	470	87,5	77	18	M200	180	136	60	885	51260	1750	001.100

Tabla 28. Dimensiones del gancho simple de forja según norma DIN 15401

4.3 Poleas

4.3.1 Generalidades de las poleas

La polea es un elemento de la grúa cuya función es la de cambiar la dirección del cable o servir de elemento de acoplamiento entre grúa y carga. Existen dos tipos de poleas, las de radios o las de alma central. Las utilizadas en la presente grúa son todas de alma central debido a que se obtienen a partir de un redondo de acero del diámetro suficiente.

El acoplamiento entre la polea y el eje se puede realizar mediante casquillos de bronce (cojinetes) o rodamientos, siendo esta última opción la que se utilizará en todas las poleas de la grúa, por las mejores prestaciones que ofrece.

4.3.2 Perfil de la garganta de las poleas

El perfil de la garganta está normalizado según la DIN 15061. La garganta es de gran importancia para la vida de los cables. El cable ha de ajustarse en las gargantas de forma que no quede ni muy apretado por problemas de acuñamiento, ni muy holgado por problemas de aplastamiento.

Normalmente se da a las gargantas el perfil formado por un arco de circunferencia de 135º y diámetro ligeramente superior al del cable. Dos rectas convergentes a 45º, hasta una altura total de 1,5 a 2 veces el diámetro del cable.

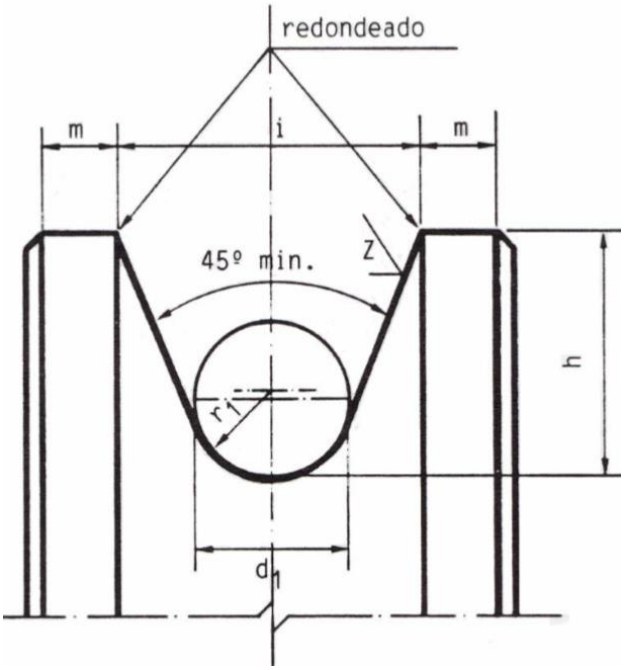


Ilustración 74. Garganta de la polea

Radio de garganta		h	i	m	Ø$_{nominal}$ del cable
r_1	Diferencia adm. para precisión				d_1
1,6	+0,2	8	9	2	3
2,2		10	11	2	4
2,7		12,5	14	2	5
3,2		12,5	15	3	6
3,7		15	17	4	7
4,2		15	18	4	8
4,8		17,5	21	4,5	9
5,3	+0,3	17,5	22	4,5	10
6		20	25	5	11
6,5		20	25	5	12
7		22,5	28	5	13
7,5		25	31	6	14
8		25	31	6	15
8,5	+0,4	27,5	34	6	16
9		30	37	6	17
9,5		30	38	6	18
10		32,5	40	7	19

Tabla 29. Definición de perfiles de garganta de poleas según DIN 1506

Se cuenta con un cable de 0,8 pulgadas, lo que equivalen a un r_1 de 10 mm.

h = 32,5 mm
i = 40 mm
m = 7 mm

4.4 Tambor

La función de los tambores de cables es la de ir almacenando el cable sobrante al producirse la elevación de la carga. Podemos dividir los tambores de elevación en dos grandes grupos:

- De una capa: el cable se enrolla en una sola capa a lo largo de la longitud del tambor.

- De varias capas: el cable se enrolla en capas sucesivas.

Para las máquinas de elevación los tambores de cables deben ser lo suficientemente grandes para permitir el arrollamiento total del cable en una única capa. Los tambores lisos con varias capas de cable, solo se usan en cabrestantes para las obras públicas, en cucharas mecánicas y en los tambores de almacenamiento que se encuentran detrás de las poleas de fricción, almacenando grandes longitudes de cable con tensión reducida.

Los tambores se fabrican de fundición de hierro, de acero fundido o en construcción de chapa de acero soldada, estos últimos permiten economías considerables en peso y son más económicos.

4.4.1 Perfil de la garganta

La siguiente figura y tabla muestran las dimensiones que ha de tener el perfil de la garganta del tambor, según la DIN 15601.

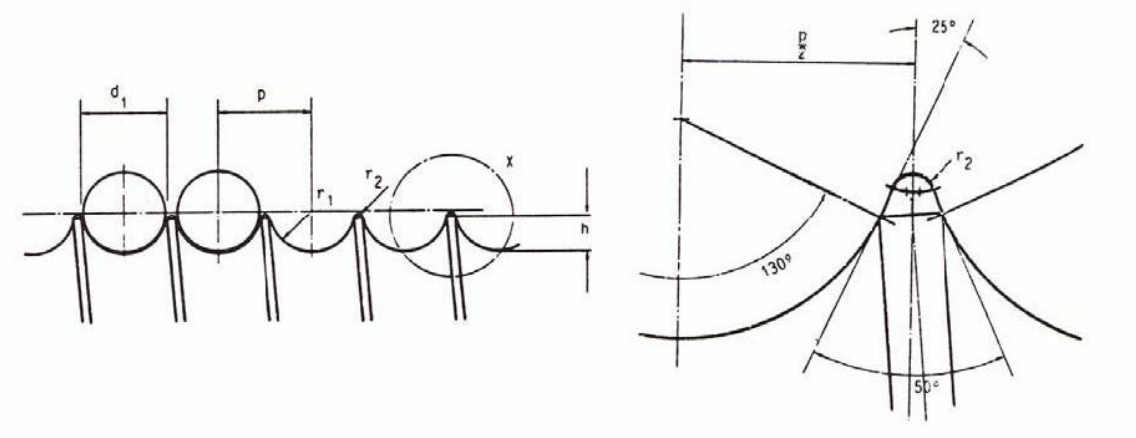


Ilustración 75. Notación para el perfil de garganta del tambor según DIN 15601

La tabla que hace referencia a la anterior figura es la siguiente:

Radio de garganta		p	h	r_2	Diámetro nominal del cable
r_1	dif. Adm.				d_1
5,3	0,2	11,5	4	0,8	10
6		13	4,5	0,8	11
6,5		14	4,5	0,8	12
7		15	5	0,8	13
7,5		16	5,5	0,8	14
8		17	6	0,8	15
8,5		18	6	0,8	16
9		19	6,5	0,8	17
9,5		20	7	0,8	18
10		21	7,5	0,8	19
10,5		22	7,5	0,8	20

Ilustración 76. Dimensiones del perfil de garganta (Unidades en mm)

Luego para el diámetro de cable empleado en la grúa (10 mm) la designación del perfil de garganta para el tambor es:

Cable 14 mm: Perfil de garganta DIN 15061 – 10,5 × 22

4.4.2 Dimensionado del tambor

El diámetro de arrollamiento de un tambor se calcula según DIN 4130, y debe tenerse en cuenta que el diámetro del mismo debe ser igual o mayor que el diámetro de las poleas de armadura.

Para comenzar se estima un diámetro primitivo de tambor de; D_t = 200 mm.

El número de espiras para elevar la carga de 4 metros se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$n' = \frac{L}{\pi \cdot D_t}$$

n´: número de espiras
L: longitud del cable a enrollar
D_t: diámetro primitivo del tambo]

$$n = \frac{4000}{\pi \cdot 200} = 7\ [espiras]$$

Es necesario dejar 2 o 3 espiras muertas, para reforzar la fijación del cable e impedir que la carga quede colgando de ésta, aun en el caso que el gancho alcance la posición más baja. Por otro lado, hay que tener en cuenta que la tuerca para guía del cable debe permitir un arrollamiento completo del mismo, por lo que el tambor debe estar provisto con 2 o 4 espiras adicionales.

- Numero de espiras para enrollar el cable: n_c = n + 2 = 9 [espiras]
- Numero de espiras en el tambor: n_t = n_c + 3 = 12 [espiras]

El tambor se encuentra solicitado a torsión, flexión por la tracción del cable y a compresión causada por el apriete del cable. Los esfuerzos de torsión son pequeños y por ello despreciables. Normalmente también los esfuerzos de flexión son despreciables, excepto para los tambores de longitud excesiva. Resulta, por lo tanto, que el espesor de un tambor debe elegirse de acuerdo con la solicitación del arrollamiento.

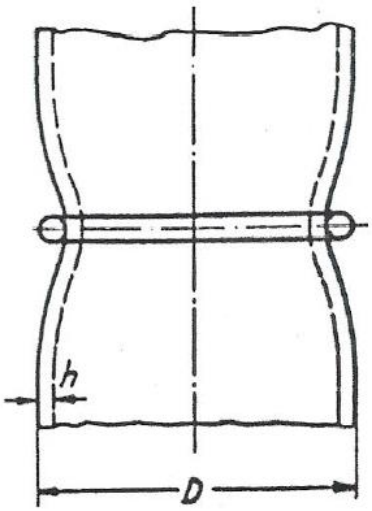


Ilustración 77. Deformación de un tambor bajo la influencia de una espira de cable única

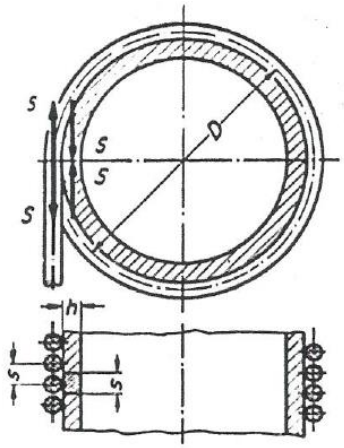


Ilustración 78. Solicitación a compresión del tambor en el caso de un arrollamiento completo.

El arrollamiento solicita al tambor a compresión y a flexión. El tipo de solicitación se pone en evidencia imaginando un tambor que soporta una única espira de cable (*Ilustración 77*). Bajo la influencia de la tracción del cable el tambor se comprime con la máxima deformación debida al arrollamiento. A medida que nos alejamos de la espira, la deformación, y consecuentemente el esfuerzo debido a la compresión, disminuye. El perfil del tambor deformado es el que presenta la *Ilustración 77*, mostrando que existe una solicitación a flexión en sentido paralelo al eje del tambor. Los esfuerzos máximos debido a una sola espira son los siguientes:

$$A\ compresión \longrightarrow \sigma = 0{,}93 \cdot S \cdot \sqrt[4]{\frac{10}{D_t^2 \cdot h^6}}$$

$$A\ flexión \longrightarrow \sigma_f = 1{,}61 \cdot S \cdot \sqrt[4]{\frac{10}{D_t^2 \cdot h^6}}$$

σ: tensión del tambor debida la compresión del cable, [kg/mm2]
σ_f: tensión del tambor debida a la flexión del cable, [kg/mm2]
h: espesor del tambor, [mm]
S: tracción máxima sobre el cable. [kg]
D_t: diámetro primitivo del arrollamiento, [mm]

En servicio normal, el tambor nunca será cargado por una sola espira aislada. Siendo corriente que el arrollamiento del cable bajo tensión se empiece desde un extremo del tambor, se podrá obtener el esfuerzo total soportado por este recubierto totalmente de espiras, calculando los esfuerzos causados por cada espira aisladamente y superponiéndolos. En este caso, la solicitación de la flexión local será nula, porque, si la tracción no varía, la deformación por compresión es constante y la generatriz del tambor permanecerá recta. No obstante, los esfuerzos de compresión se añadirán hasta que la sección correspondiente al paso del enrollamiento sea solicitada por la tracción del cable. Bajo esta hipótesis el esfuerzo de compresión se calcula como sigue:

$$\sigma = \frac{S}{h \cdot p}$$

σ: esfuerzo de compresión sobre el tambor, [Kg/mm2]

h: espesor del tambor, [mm]
p: paso del arrollamiento, [mm]
S: tracción máxima sobre el cable, [kg]

Pero está hipótesis no se cumple siempre de forma exacta. Porque cuando se coloca la primera espira, el tambor no sufre la deformación total, que es el resultado del arrollamiento completo. A medida que la deformación del tambor aumenta bajo la influencia de las espiras, la tracción del cable de las primeras espiras disminuye. La fricción del cable sobre el tambor evita que las tensiones se equilibren de un extremo a otro del arrollamiento. Para el tambor completamente recubierto de espiras el esfuerzo de compresión es:

$$\sigma = \frac{750}{20 \cdot 22} = 1{,}7 \left(\frac{kg}{mm^2}\right) < \sigma_{adm}$$

Se considera que el espesor del tambor es igual al espesor del cable, luego h = 20 mm.

El tambor se construirá de chapa de acero AE 1040 soldada con σ_{adm} = 8 [Kg/mm^2].

Los tambores de cable deben estar provistos de dos pestañas de una altura igual a 1,5 veces el diámetro del cable. Los costados del tambor (pestañas) son solicitadas a flexión por la componente que resulta de la inclinación del cable. Esta componente H puede ser estimada en un 10% de la tracción del cable. El esfuerzo a flexión de las pestañas se calcula:

$$e = \sqrt{1{,}44 \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{D}{D_m}\right) \cdot \frac{H}{\sigma_{adm}}}$$

H: componente que resulta de la inclinación del cable, H = 75 [Kg]
e: espesor de la pestaña, [mm]
D: diámetro del tambor, D = 250 [mm]
D_m: diámetro del cubo, D_M = 210 [mm]
σ_{adm}: tensión máxima del material, para acero SAE 1040: σ_{adm} = 8 [Kg/mm^2]

$$e = \sqrt{1{,}44 \cdot \left(1 - \frac{2}{3} \cdot \frac{250}{210}\right) \cdot \frac{75}{8}} = 2\ mm$$

La longitud del tambor se determina teniendo en cuenta que sobre el mismo se enrollan los cables correspondientes a 2 ramales del mecanismo de elevación, uno hacia la derecha y el otro hacia la izquierda.

$$L_t = 2 \cdot L_1 + 2 \cdot L_2 + L_3 + 2 \cdot e$$

L_T: longitud total del tambor, [mm]
L_1: longitud necesaria para la fijación del cable al tambor, L_1 = 50 [mm]
L_2: longitud necesaria para enrollar el cable, $L_2 = n_c \cdot p = 12 \cdot 22 = 264\ [mm]$
L_3: separación entre los dos ramales, L_3 = 150 [mm]
e: espesor de la pestaña del tambor, e = 2 [mm]

$$L_t = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 264 + 150 + 2 \cdot 2 = 782\ mm$$

4.5 Accionamiento del tambor

4.5.1 Motor

Los motores de las máquinas de elevación necesitan de un gran par de arranque ya que deben poder ponerse en marcha para la elevación en carga, estando suspendida en el aire y teniendo que acelerarla en muy poco tiempo, llevando todas las masas de cero hasta la velocidad de régimen. Su sentido de marcha debe ser reversible y deben ser capaces de ejercer un par de frenado.

La elección del motor se basa en la potencia de régimen, es decir, la potencia que da el motor para levantar o desplazar la plena carga a velocidad normal de régimen, después del periodo de aceleración.

$$N_R = \frac{T \cdot v}{75 \cdot \eta} = \frac{T \cdot v}{75 \cdot \eta_p \cdot \eta_r \cdot \eta_t}$$

N_R: potencia de régimen, [CV]
T: carga sobre el tambor debido a la tensión de los dos cables, T = 750 [kg]
v: velocidad del cable de elevación, v = 5 [m/min] = 0.083 [m/seg]
η: rendimiento mecánico
η_p: rendimiento del aparejo, para 4 ramales: $\eta_p = 0.95$
η_r: rendimiento del reductor, $\eta_r = 0.94$
η_t: rendimiento del tambor, $\eta_t = 0.95$

$$N_R = \frac{T \cdot v}{75 \cdot \eta_p \cdot \eta_r \cdot \eta_t} = \frac{750 \cdot 0{,}083}{75 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}95} = 1 \text{ CV} = 0{,}75 \text{ kW}$$

Pero el conocimiento de la potencia de régimen no es suficiente para elegir un motor. Muy frecuentemente la potencia que se puede pedir a un motor no solo está limitada por su par, sino también por el calentamiento del motor que, debido al aislamiento, no debe sobrepasar cierto límite. Además, el calentamiento depende del tipo de servicio, marcha continua o intermitente. La temperatura de un motor de marcha continua aumenta progresivamente hasta una temperatura máxima en que la generación y la evacuación de calor se equilibran (Ilustración 79). En marcha intermitente, como es lo corriente en las máquinas de elevación, el motor se enfría durante los tiempos de parada. Después de un cierto número de ciclos, el motor alcanza una temperatura estacionaria que es menos elevada que la de un motor en marcha continua que suministre el mismo par. Ello significa que, admitiendo el mismo calentamiento, un motor puede suministrar una potencia superior en servicio intermitente a la de servicio continuo.

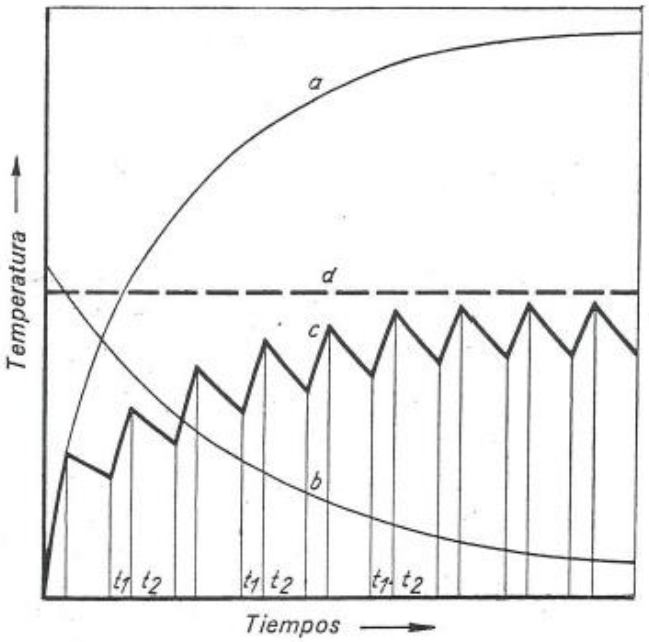


Ilustración 79. Calentamiento de un motor eléctrico dando el mismo par en el servicio continuo y en el servicio intermitente

a- Calentamiento en servicio continuo
b- Refrigeración en las paradas
c- Calentamiento en servicio intermitente
d- Temperatura limite admisible

t_1- Tiempo de marcha
t_2- Tiempo de parada

Por otra parte, el calentamiento depende de la importancia relativa de la carga. Un cabrestante, por ejemplo, no eleva frecuentemente más que el gancho vacío o una pequeña carga. Cuanto más raro sea el funcionamiento con plena carga, más se podrá pedir al motor una potencia de régimen elevada sin calentamiento excesivo.

Por otra parte, es posible que la carga efectiva del motor sea mayor que la potencia de régimen. Este caso se presenta para los mecanismos que aceleran masas importantes, por ejemplo, las rotaciones y traslaciones a gran velocidad de una grúa. Además del par normal, tal motor debe suministrar un par de aceleración muy elevado. Las pérdidas magnéticas y eléctricas y por consiguiente su calentamiento, son más importantes que las supuestas si solo se juzga por la potencia de régimen. En los cabrestantes, la influencia del trabajo de aceleración es corrientemente despreciable, aun en el caso de grandes velocidades de elevación.

Para elegir correctamente el tipo de motor, es necesario tener en cuenta el servicio intermitente, la carga relativa y la aceleración (despreciable en el caso del mecanismo de elevación), para ello se determina:

4.5.1.1 Factor de carga relativa

Tiene en cuenta que un ciclo completo de trabajo de la grúa se compone de movimientos con carga y movimientos en vacío. Se tiene en cuenta estas variaciones de cargas por un factor que representa el momento relativo y se define por:

$$M_r = \frac{M_R + M_0}{2 \cdot M_R}$$

M_R: par en carga.
M_0: par en vacío.

Se pueden utilizar los siguientes valores para la carga relativa (extraído de Ernst Tomo I Pág. 226)

- 0,55 a 0,6 para cabrestantes de gancho;
- 0,75 a 0,8 para cabrestantes de cucharas;
- 0,65 a 0,75 para traslación de los carros de gancho;
- 0,75 a 0,90 para traslación de puentes grúa de gancho;
- 0,85 a 0,95 para traslación de carros de cuchara;
- 0,90 a 1,00 para traslación de pórticos.

Entonces para el motor del sistema elevación tenemos, $M_r = 0{,}55 \div 0{,}6$

La potencia del motor a adoptar la calculamos como:

$$N_M = r \cdot N_r$$

Donde; r = f (M_r) y se lo obtiene de la

Carga relativa M_r	0,55	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$r = \frac{\text{potencia de catalogo}}{\text{potencia de régimen}}$	0,74	0,74	0,76	0,83	0,91	1,00

Tabla 30. Valor del factor r en función de M_r.

Para el caso de estudio r = 0,74

$$N_M = 0{,}74 \cdot 0{,}75 = 0{,}555\ kW$$

4.5.1.2 Factor de marcha

$$ED\% = \frac{\sum Tiempo\ de\ marcha}{\sum Tiempo\ de\ marcha + \sum Tiempo\ de\ parada} \cdot 100$$

El puente grúa realiza distintos ciclos. Para simplificarlo todo, se opera con el ciclo más perjudicial para el motor del tambor (mayor tiempo trabajando y menor tiempo de descanso).

Entonces;

$$\sum Tiempo\ de\ marcha = \sum Tiempo\ de\ elevación + \sum Tiempo\ de\ descenso$$

$$\sum Tiempo\ de\ marcha = (48\ [s] + 48\ [s]) \cdot 2 = 192\ [s]$$

$$\sum Tiempo\ de\ parada = \sum Tiempo\ de\ ciclo - \sum Tiempo\ de\ marcha$$

$$\sum Tiempo\ de\ parada = 250 - 192 = 58$$

Por tanto;

$$\mathrm{ED\%} = \frac{192}{192 + 58} \cdot 100 = 76{,}8\ \%$$

La potencia nominal de un motor es tanto menor cuanto más elevado es su factor de marcha. En una primera aproximación, las potencias varían con la relación de las raíces cuadradas de los factores de marcha.

De esta manera se puede evaluar la potencia de un motor, por un factor de marcha *ED%* que se encuentra fuera de la gama de los factores indicados en el catálogo.

Seleccionando un motor del catálogo con ED = 40 %

$$\frac{N_{40}}{N_{77}} = \frac{\sqrt{77}}{\sqrt{40}} \longrightarrow N_{40} = N_{77} \cdot \frac{\sqrt{77}}{\sqrt{40}} = 0{,}555 \cdot \frac{\sqrt{77}}{\sqrt{40}} = 0{,}77\ \mathrm{kW}$$

Axis height: 80, 90, 100			
	T=2100 rpm in delta circuit or star circuit, 3000 rpm in delta circuit		
		Package length: 1..9 The code depends on the length and axis height	
			Number of poles
80	T	1	/4

Size	M_N [Nm]	P_N [kW]	n_N [rpm]	I [A]	η	J [kgm²]	[kg]	M_{max} [Nm]	K_T [Nm/A]	K_E [mV/rpm]
80T1/4	5.0	1.1	2,100	2.03	90.5	0.0011	8.0	14.4	2.5	154
80T1/4 Δ	4.8	1.5	3,000	3.44	90.4				1.4	89
90T1/4	6.8	1.5	2,100	2.82	89.9	0.0019	10.0	21.0	2.4	156
90T1/4 Δ	7.0	2.2	3,000	5.09	89.6				1.4	90
90T3/4	10.0	2.2	2,100	4.13	90.5	0.0024	12.0	29.0	2.4	158
90T3/4 Δ	9.5	3.0	3,000	6.84	92.3				1.4	91
100T2/4	13.6	3.0	2,100	5.4	91.4	0.0046	18.0	42.0	2.6	161
100T2/4 Δ	12.7	4.0	3,000	8.9	92.1				1.5	93
100T5/4	18.2	4.0	2,100	7.1	92.1	0.0060	21.0	57.0	2.6	165
100T5/4 Δ	17.5	5.5	3,000	11.9	92.2				1.5	95

Tabla 31. Características motor de elevación

Se selecciona un motor síncrono de NORD, pues cuenta con un rendimiento muy elevado y una gran densidad de potencia. Gracias a estas sobresalientes características, con estos accionamientos se consiguen ahorros de energía considerables, sobre todo en aplicaciones en marcha continua. Se escoge el motor con potencia 1.1 kW. A continuación, se comprueba el par.

4.5.2 Verificación del motor adoptado

Se verifica el momento de arranque de nuestro motor. Este viene dado por:

$$M_A = M_1 + M_2 + M_3$$

M_1: es el momento necesario para elevar la carga a velocidad uniforme.
M_2: es el momento para acelerar las masas que se mueven en línea recta.
M_3: es el momento necesario para acelerar las masas que giran.

4.5.2.1 Cálculo de M_1

La potencia necesaria para trasladar la carga (sobre el tambor) a velocidad uniforme será:

$$N_{trasl} = T \cdot v_c$$

T: carga sobre el tambor.
v_c: velocidad uniforme de la carga.

Esta potencia debe ser suministrada por el motor, tal que:

$$N_{mot} = M_{mot} \cdot \varpi_M$$

M_{mot}: par que entrega el motor.
ϖ_M: velocidad angular del motor.

Igualando se obtiene:

$$M_{mot} \cdot \varpi_M = T \cdot v_c \longrightarrow M_1 = \frac{T \cdot v_c}{\varpi_M}$$

Además:

$$v_c = r_t \cdot \omega_t$$

r_t = radio del tambor
ω_t = velocidad angular del tambor

$$\omega_t = \frac{v_c}{r_t} = \frac{0{,}0833(m/s)}{0{,}1(m)} = 0{,}8333\frac{rad}{s} = 8\,rpm$$

La relación de transmisión es igual a:

$$i = \frac{\omega_t}{\varpi_M} = \frac{8}{2100} = \frac{2}{252}\,rpm$$

Finalmente introduciendo el rendimiento de la transmisión de la potencia desde el motor hasta el tambor, se tiene:

$$\mathrm{M_1} = \frac{\mathrm{T \cdot r_t \cdot i}}{\eta} = \frac{750 \cdot 0{,}1 \cdot \frac{2}{252}}{0{,}85} = 0{,}7\,kgm$$

4.5.2.2 Cálculo de M_2

Haciendo el mismo análisis que para M_1

$$M_2 = \frac{F_a \cdot r_t \cdot i}{\eta}$$

Pero F_a ahora no es la carga sobre el tambor sino la fuerza necesaria para acelerar la carga en un determinado tiempo.

$$F_a = m \cdot a = 750 \cdot 0{,}0139 = 10{,}425\ N = 1{,}04\ kg$$

$$M_2 = \frac{F_a \cdot r_t \cdot i}{\eta} = \frac{1{,}04 \cdot 0{,}1 \cdot \frac{2}{252}}{0{,}85} = 0{,}00097\ kgm$$

4.5.2.3 Cálculo de M_3

El momento necesario para acelerar las masas que giran viene dado por:

$$M_3 = I_G \cdot \varepsilon_G$$

I_G : momento de inercia de las masas que giran.
ε_G : aceleración angular.

La potencia necesaria para el giro del elemento es:

$$N_G = M_G \cdot \varpi_G$$

Esta potencia deberá ser igual a la potencia entregada por el motor:

$$M_G \cdot \varpi_G = I_G \cdot \varepsilon_G \cdot \varpi_G \longrightarrow M_G = \frac{I_G \cdot \varepsilon_G}{i \cdot \eta_{mecanico}}$$

Puesto que las masas que giran son muchas, entonces:

$$M_G = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{I_G \cdot \varepsilon_G}{i_i \cdot \eta_{mecanico}} \right)$$

i_i : relación de transmisión desde el elemento hasta el motor.
$\eta_{mecanico}$: rendimiento desde el elemento al motor.

En la fórmula puede verse que los mayores momentos se darán cuando i=1, es decir, en los elementos que giran con la velocidad del motor, por ello solo se analizan estos y luego se corrige la fórmula. Entonces:

P/ rotor motor GD^2: = 0,011 [Kgm^2]

$$I_G = \frac{GD^2}{4g} = \frac{0{,}0011}{4 \cdot 9{,}8} = 2{,}8 \cdot 10^{-4}\ kgms^2$$

La aceleración angular para t_a = 1 [s] y un número de revoluciones del motor n_M = 2100 [rpm] será:

$$\varepsilon = \frac{\varpi_M}{t_a} = \frac{220}{1} = 220\ s^{-2}$$

Como se consideran solo las masas que giran con la velocidad del motor, es decir, con i = 1, se toma un $\eta_{mecanico} = 0{,}96$ y un factor de corrección de 1,2 por las masas no consideradas.

$$M_3 = \frac{\mathrm{I_G} \cdot \varepsilon_\mathrm{G}}{i \cdot \eta_{mecanico}} = \frac{2{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot 220}{1{,}2 \cdot 0{,}96} = 0{,}05\ kgm$$

Finalmente, el momento de arranque necesario será:

$$M_A = M_1 + M_2 + M_3 = 0{,}7 + 0{,}00097 + 0{,}05 = 0{,}75097 \text{ kgm}$$

Verificando el momento de arranque se debe calcular el momento nominal del motor:

$$\mathrm{M_N} = 71620 \cdot \frac{\mathrm{N}}{\mathrm{n}}$$

M_N: momento nominal del motor, [Kg.cm]
N: potencia del motor de accionamiento, [CV]
n: número de revoluciones del motor, [rpm]

$$\mathrm{M_N} = 71620 \cdot \frac{1{,}45}{2100} = 49{,}45\ kgcm = 0{,}494\ kgm$$

En el arranque las resistencias rotóricas permiten aumentar el momento de arranque tal que:

$$\frac{M_A}{M_N} = 2 \longrightarrow M_{Amotor} = 2 \cdot M_N = 0{,}988\ kgm > 0{,}75\ kgm$$

Por lo que el motor seleccionado CUMPLE con las solicitaciones preestablecidas.

4.5.3 Freno

Los frenos de los mecanismos de elevación deben ser capaces de mantener la carga suspendida al final del movimiento de elevación o descenso, cuando el motor se desconecta o en ausencia de tensión.

Para nuestro caso se ha escogido un motor con freno a disco incorporado, que consiste generalmente en un disco provisto de una guarnición de freno que se puede desplazar axialmente sobre el eje que se quiere frenar.

Para la verificación del par de frenado del motor-freno seleccionado, se procede de la siguiente forma:

El momento de frenado al igual que el momento de arranque está constituido por tres términos.

$$M_F = M_4 + M_5 + M_6$$

M_4: es el momento que ejerce la carga al bajar con velocidad uniforme.
M_5: es el momento necesario para desacelerar las masas que se mueven en línea recta.
M_6: es el momento necesario para desacelerar las masas que giran.

Para la determinación del momento de frenado es necesario conocer el rendimiento de bajada del mecanismo debido a que éste influye en las ecuaciones de momento.

El rendimiento de subida es:

$$\eta_{\text{subida}} = \frac{M_{\text{tambor}}}{M_{\text{motor}}} \longrightarrow M_{\text{motor}} = \frac{M_{\text{tambor}}}{\eta_{\text{subida}}} \quad \text{(con rozamiento)}$$

Y el momento que se pierde por rozamiento es:

$$M_{\text{per\_roz}} = M_{\text{tambor}} \left(\frac{1}{\eta_{\text{subida}}} - 1 \right)$$

En el caso del descenso, la fuerza de rozamiento ayuda a disminuir el momento empleado por el motor (es favorable), por lo tanto, el momento del motor durante el descenso será:

$$M_{\text{motor}} = M_{\text{tambor}} \cdot \eta_{bajada}$$

y el momento perdido por rozamiento será:

$$M_{\text{perd\_roz}} = M_{\text{tambor}} \cdot (1 - \eta_{bajada})$$

Puesto que estos momentos (perdidos por rozamiento) deben ser iguales:

$$\left(\frac{1}{\eta_{\text{subida}}} - 1 \right) = (1 - \eta_{bajada}) \longrightarrow \eta_{bajada} = 2 - \frac{1}{\eta_{\text{subida}}}$$

El valor del rendimiento de subida es 0,85. Por tanto:

$$\eta_{bajada} = 2 - \frac{1}{0{,}85} = 0{,}82$$

4.5.3.1 Cálculo de M_4

Con el mismo razonamiento que para el momento y teniendo en cuenta que el rozamiento ayuda:

$$M_4 = T \cdot r_t \cdot i \cdot \eta_{bajada} = 750 \cdot 0{,}1 \cdot \frac{2}{252} \cdot 0{,}82 = 0{,}488\ kgm$$

4.5.3.2 Cálculo de M_5

Se calcula en forma análoga a M_2 solamente que aquí se tomará el valor de la desaceleración:

$$F_{desac} = m \cdot a = 750 \cdot 0{,}0139 = 10{,}425\ N = 1{,}04\ kg$$

$$M_5 = F_{desac} \cdot r_t \cdot i \cdot \eta_{bajada} = 1{,}04 \cdot 0{,}1 \cdot \frac{2}{252} \cdot 0{,}82 = 0{,}00067\ kgm$$

4.5.3.3 Cálculo de M_6

Como el freno va colocado entre el motor y reductor (salida del motor) se hacen las mismas consideraciones que para M_3, tomando como tiempo de desaceleración t_{desac} = 1 [seg].

$$-\varepsilon = \frac{\varpi_M}{t_{desac}} = \frac{220}{1} = 220\ s^{-2}$$

$$M_5 = 1{,}2 \cdot I_G \cdot \varepsilon \cdot i \cdot \eta_{bajada} = 1{,}2 \cdot 2{,}8 \cdot 10^{-4} \cdot 220 \cdot 1 \cdot 0{,}82 = 0{,}06\ \text{kgm}$$

El momento de frenado será:

$M_F = M_4 + M_5 + M_6$ = 0,488 + 0,00067 + 0,06 = 0,55 kgm = 5,5 Nm

Finalmente, para la elección del freno se tendrá en cuenta un factor de seguridad ϕ = 1.6, ya que el mismo debe ser capaz de soportar la máxima carga suspendida en el aire:

$$M_F^S = M_F \cdot \phi = 5{,}5 \cdot 1{,}6 = 8{,}8\ Nm$$

$$M_F^S = 8{,}8 < M_{Fmotor-freno} = 14{,}4 \quad \text{CUMPLE}$$

4.6 Accionamiento del carro

El carro monorraíl de altura reducida va impulsado por un solo motor. Este se engrana directamente con una de las cuatro ruedas del carro e indirectamente sobre la enfrentada a ésta, de modo que existen dos ruedas tractoras y dos ruedas locas.

En primer lugar, se calcula la resistencia a rodadura de la rueda. Todo lo relativo a este punto se detalla en el apartado 7.3. A partir del valor de la resistencia de rodadura se obtienen los demás valores:

$$W_R = \frac{4 \cdot Q_c}{D_n} \cdot \left(f' + \mu \cdot \frac{d}{2}\right) \cdot \omega$$

Donde:

W_R: resistencia a la rodadura para una rueda, $W_R = 17500/4$ [Kg]
Q_c: carga máxima sobre la rueda, [Kg]
D_n: diámetro de la rueda, $D_n = 0{,}160$ [m]
f': brazo de la resistencia a la rodadura, según H. Ernst: f = 0.0005 [m]
μ: coeficiente de fricción del eje, según catalogo SKF: μ = 0.0018
d: diámetro del eje de la rueda, [m]
ω: coeficiente de mayoración, tiene en cuenta la resistencia en pestañas y cubos

Diámetro de la rueda [mm]	125	200	250	320	400	500
Diámetro del eje [mm]	45	55	60	70	80	90
ω	7.5	5.5	4.5	3.5	3.0	2.5

Tabla 32. Características de ruedas en función de su diámetro

$$W_R = \frac{4 \cdot Q_c}{D_n} \cdot \left(f' + \mu \cdot \frac{d}{2}\right) \cdot \omega = \frac{4 \cdot \frac{1750}{2}}{0{,}160} \cdot \left(0{,}0005 + 0{,}0018 \cdot \frac{0{,}058}{2}\right) \cdot 6{,}5 = 78{,}516\ kg$$

Para elegir correctamente el motor de accionamiento es necesario tener en cuenta el servicio intermitente, la carga relativa y la aceleración.

$$N_R = 2 \cdot \frac{W_R \cdot v_t}{75 \cdot \eta}$$

Donde:

N_R: potencia de régimen, [CV]
W_R: resistencia a la rodadura, [Kg]
v_t: velocidad de traslación, [m/seg]
η: rendimiento del accionamiento

$$N_R = 2 \cdot \frac{W_R \cdot v_t}{75 \cdot \eta} = 2 \cdot \frac{78{,}516 \cdot 0{,}25}{75 \cdot 0{,}9} = 0{,}58\ CV$$

Para acelerar un carro en un tiempo t_a (s) hasta la velocidad de régimen, admitiendo un par de arranque constante, se debe suministrar una potencia de aceleración que alcanza su máximo en el fin del arranque:

$$N_A = \frac{(P + G)}{g} \cdot \frac{v_t^2}{75 \cdot t_a \cdot \eta} \cdot \beta$$

Donde:

N_A: potencia de aceleración, [CV]
P: carga máxima de la grúa, [kg]
G: peso del carro, [kg]
g: aceleración de la gravedad, [m/seg2]
v_t: velocidad de traslación, [m/s]
t_a: tiempo de aceleración, [s]
η: rendimiento del accionamiento
β: coeficiente que tiene en cuenta las masas en rotación, según H. Ernst: β = 1.1 a 1.2

$$N_A = \frac{(P + G)}{g} \cdot \frac{v_t^2}{75 \cdot t_a \cdot \eta} \cdot \beta = \frac{(1000 + 750)}{9{,}8} \cdot \frac{0{,}25^2}{75 \cdot 3{,}2 \cdot 0{,}9} \cdot 1{,}2 = 0{,}052\ CV$$

Verdaderamente, el par de arranque nunca es constante, pero puede considerarse un valor medio entre 1.7 a 2 veces el par normal. Como la potencia es proporcional al par se encuentra la potencia nominal necesaria:

$$N = \frac{N_R + N_A}{1.7} = \frac{0{,}58 + 0.052}{1.7} = 0{,}37\ CV$$

Se va a suponer escoger un motor de 2100 rpm. Por tanto, n_1=2100 rpm. Se necesita descubrir n_2.

$$n_2 = \frac{v_t}{\frac{D_n}{2}} = \frac{0{,}25}{\frac{0{,}160}{2}} = 3{,}125\frac{rad}{s} = 29{,}84\ rpm$$

Por tanto, el valor de la relación de transmisión será de:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{2100}{29{,}84} = 70{,}4$$

Para obtener el momento de frenado necesario vamos a considerar que las masas actuantes deben frenar en un tiempo igual a 3,2 [s]:

$$M_{freno} = \frac{(P+G)}{g} \cdot \frac{v_t}{t_f \cdot \eta} \cdot D_n \cdot \eta \cdot i$$

Donde:

M_{freno}: momento de frenado, [Kgm]
P: carga máxima de la grúa, [Kg]
G: peso del carro o de la grúa, [Kg]
g: aceleración de la gravedad, [m/seg^2]
v_t: velocidad de traslación, [m/seg]
t_f: tiempo de frenado o desaceleración, [seg]
D_n: diámetro de la rueda, [m]
η: rendimiento del accionamiento
i: relación de transmisión del reductor

$$M_{freno} = \frac{(P+G)}{g} \cdot \frac{v_t}{t_f} \cdot D_n \cdot \eta \cdot i = \frac{(1000+750)}{9{,}8} \cdot \frac{0{,}25}{3{,}2} \cdot 0{,}160 \cdot 0{,}9 \cdot 70{,}4 = 141{,}42\ kgm$$

Por último, para la selección del reductor se tiene en cuenta el momento necesario para accionar la rueda:

$$M_{red} = 2 \cdot W_R \cdot \frac{D_n}{2} = 2 \cdot 78{,}516 \cdot \frac{0{,}160}{2} = 12{,}56\ kgm$$

Variable	Valor	Unidades
Q_c	875	kg
D_n	125	mm
f	0,0005	_
μ	0,0018	_
d	58	mm
ω	6,5	_
W_R	78,516	kg
V_t	0,25	m/s
η	0,9	_
N_R	0,58	CV
P	1000	kg
G	750	kg
t_a	3,2	s
β	1,2	_
N_A	0,052	s
N	0,37	CV
N	0,28	kW
t_f	3,2	s
N_1	2100	rpm
N_2	29,84	rpm
i	70,4	_
M_{freno}	141,42	kgm
M_{freno}	1386,85	Nm
M_{red}	12,56	kgm
M_{red}	123,17	Nm

Tabla 33. Resultados de los cálculos del motorreductor del carro

Según estas premisas se escoge un motorreductor que se adapte a ellas. Se selecciona uno de la marca NORD. Concretamente el modelo SK 1282 - 80T1/4, provisto de un tren de engranajes de ejes paralelos, que es lo más habitual en estas aplicaciones.

Rated motor power
Rated motor speed
Output speed at rated motor speed
Minimum output speed at rated torque
Output torque
Service factor
Gear unit ratio
Permitted overhung force, output end
Permitted axial force, output end

P1	n1	n2 nom	n2 min	M2	fB	i	FR	FA	FR (VL)	FA (VL)	Gearmotor
[kW]	[rpm]	[rpm]	[rpm]	[Nm]			[N]	[N]	[N]	[N]	
1.1	2100	29	4.2	361	0.8	72.17	3617	7150	8446	7200	SK 1282 - 80T1/4
		36	5.1	295	1.0	58.89	3632	7150	8869	7200	
		43	6.1	246	1.1	49.25	3616	7150	9114	7200	
		51	7.3	205	1.1	41.07	3539	7150	9284	7200	
		65	9.4	160	1.4	32.08	3526	7150	9431	7200	

Tabla 34. Datos técnicos motorreductores NORD para el carro

El desplazamiento del eje paralelo para engranajes paralelos produce un diseño más corto en comparación con los engranajes helicoidales. Esta versión permite al reductor montarse directamente en el eje de accionamiento de la máquina.

El SK 1282 es de dos etapas con carcasa de hierro fundido con una superficie extremadamente lisa en la que se ha utilizado el principio de la caja de bloque NORD. Esto significa que la solidez se incorpora desde el principio. Como estándar, las carcasas tienen un soporte de par de fundición, una brida B14 en el lado de salida y superficies de pie maquinadas con orificios roscados de fijación.

Axis height: 80. 90. 100			
	T=2100 rpm in star connection. 3000 rpm in delta connection		
		Package length: 1..9 The code depends on the length and axis height	
			Number of poles
80	T	1	/4

Size	M_N [Nm]	P_N [W]	n_N [rpm]	I [A]	η	J [kgm²]	J [kg]	M_{max} [Nm]	K_T [Nm/A]	K_E [mV/rpm]
80T1/4	5.0	1.1	2100	2.03	90.5	0.0011	8.0	14.4	2.50	154.00
80T1/4 Δ	4.8	1.5	3000	3.44	90.4	0.0011	8.0	14.4	1.40	89.00

Tabla 35. Datos técnicos motor NORD para el carro

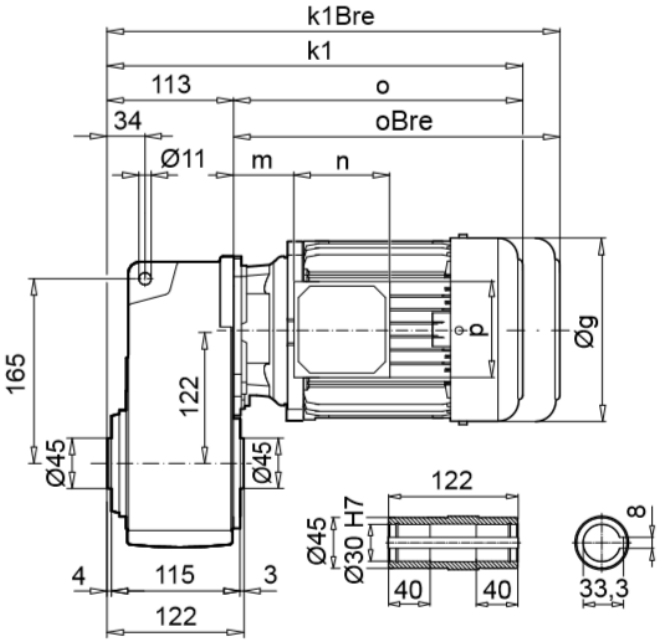


Ilustración 80. Dimensiones motorreductor del carro

Este motor NORD IE4 es síncrono con imanes permanentes en el paquete del rotor. No se pueden iniciar ni operar directamente en línea, sino que solo se pueden operar con un convertidor de frecuencia. Como motores síncronos, los motores IE4 no tienen ningún deslizamiento dependiente de la carga.

Está diseñado para dos velocidades nominales diferentes:

1. 2100 rpm a 70Hz (400V STAR, 230V DELTA)
2. 3000 rpm a 100Hz (400V DELTA)

El motor está conectado en un circuito delta y operado teóricamente a 70Hz x 1.71 = 121Hz (similar a la característica de 87Hz para motores de 50Hz). Sin embargo. como la operación de 121Hz genera un alto nivel de ruido, el punto de operación se especifica como 100Hz, 400V DELTA.

5 Selección del carro polipasto

Atendiendo a los criterios fijados en los apartados anteriores se va a escoger el carro-polipasto que más se acerque a las necesidades de la aplicación. Para ello, se selecciona dentro del catálogo que ofrece GH Cranes & Componenets.

La tipología del carro-polipasto es esencial en la selección. Dentro de la gama de posibilidades que ofrece GH, exclusivamente son aptos los polipastos monorraíles de altura reducida con disposición de cable 4/2.

Ilustración 81. Carro-polipasto de altura reducida de 6,3 t

El polipasto seleccionado es capaz de elevar 2000 kg con la disposición de ramales especificada. En cuanto a la velocidad, un variador se encargará de controlarla para que descienda de los 8 a los 5 m/min que es a los que debe trabajar el polipasto.

KG.	POLIPASTO	VEL. M/MIN	RAMALES	GRUPO FEM	RECORRIDO DEL GANCHO (M) H1	H2	H3	H4
1.000	GHA12_014105M7	5	4/1	M7	4,5	8	10,8	
	GHA12_012110M6	10	2/1	M6	9	16	21,6	
	GHB11_011116M7	16	1/1	M7	14,5	27,1	37,2	47,3
	GHB11_012216M7	16	2/2	M7	4	10,3	15,4	20,5
	GHB11_011120M6	20	1/1	M6	14,5	27,1	37,2	47,3
	GHB11_012220M6	20	2/2	M6	4	10,3	15,4	20,5
1.600	GHA12_014105M7	5	4/1	M7	4,5	8	10,8	
	GHA12_012110M5	10	2/1	M5	9	16	21,6	
	GHB11_012216M5	16	2/2	M5		10,3	15,4	20,5
	GHB11_011116M5	16	1/1	M5	14,5	27,1	37,2	47,3
	GHD13_012220M7	20	2/2	M7		15,9		31
	GHD13_011120M7	20	1/1	M7	15,2	28,8		51
2.000	GHA12_024105M7	5	4/1	M7	4,5	8	10,8	
	GHB11_022108M7	8	2/1	M7	7,26	13,55	18,6	23,6
	GHB11_024208M7	8	4/2	M7		5	7,5	10
	GHB11_022110M6	10	2/1	M6	7,26	13,55	18,6	23,6
	GHB11_024210M6	10	4/2	M6		5	7,5	10
	GHD13_022216M7	16	2/2	M7		15,9		31
	GHD13_021116M7	16	1/1	M7	15,2	28,8		51
	GHD13_022220M6	20	2/2	M6		15,9		31
	GHD13_021120M6	20	1/1	M6	15,2	28,8		51

Tabla 36. Catálogo GH de polipastos

Otro dato importante que se debe tener en cuenta para cálculos posteriores es la altura entre el apoyo de las ruedas y el gancho. Esta distancia es de **595** mm, según catálogo.

6 Diseño de la viga principal

El puente grúa monorraíl garantiza un flujo de material óptimo, dado que permite optimizar el espacio de trabajo. Los puentes grúa monorraíl se pueden suministrar con viga de perfil laminado o con viga cajón soldada, según las necesidades de diseño, se pueden hacer montajes que ahorran mucho espacio y permiten una máxima altura de gancho. Además, se tiene una carga relativamente pequeña, lo que orienta a la construcción de puente grúa con una sola viga principal. Ésta será un perfil IPE.

En primera instancia se calcularán las cargas a las que está sometida la viga principal, para después realizar un primer cálculo que proporcione un perfil adecuado y analizarlo en CYPE de una forma más precisa.

6.1 Requisitos de diseño

6.1.1 Geometría

- Morfología: configuración monorraíl. Perfil IPE (viga en doble T).
- Luz: es la distancia horizontal entre ejes de los soportes. No obstante, al desconocerla se tomará la longitud de la viga principal. L = 6,5 metros.
- Altura de la viga principal: es la distancia vertical entre el plano de apoyo del puente grúa y la parte inferior de la viga principal. Se necesita conocer este dato para dimensionar la altura de los pilares de la estructura.

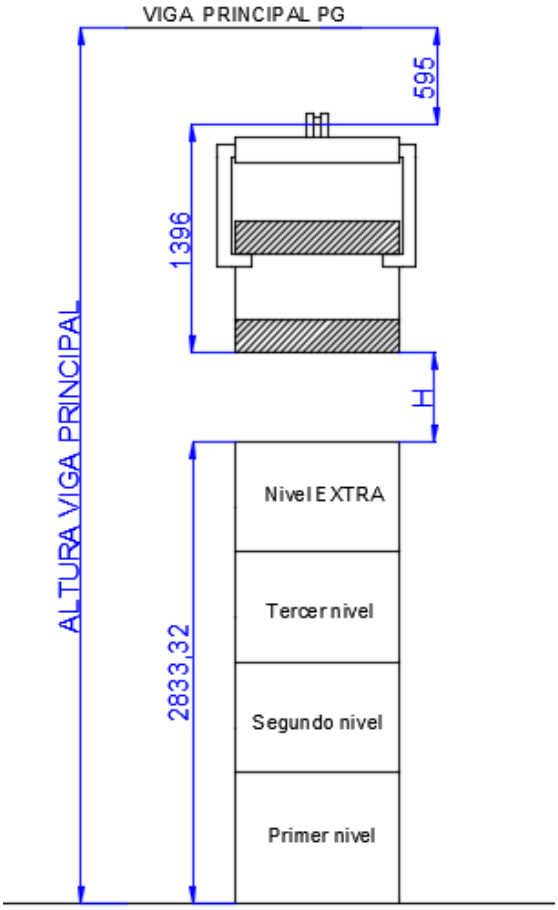


Ilustración 82. Altura viga principal

La altura de la viga principal está sujeta a varios factores. Como muestra la imagen, bajo ella debe haber espacio suficiente para el carro polipasto (altura desde la viga principal hasta la garra), la propia garra junto con la bobina transportada y las bobinas almacenadas (se realiza el estudio con 4 niveles de altura de bobinas para posibles futuros incrementos en la producción).

Además, se debe dejar un espacio adicional llamado H. Este espacio engloba, por un lado, los centímetros que sobrepasaría la bobina en transporte frente a la del cuarto nivel (100 mm). Por el otro, la altura necesaria estimada dedicada al sistema de giro de la garra que se podría implementar en proyectos posteriores (400 mm). La altura H es de 500 mm.

De esta forma, la altura en la que debe estar fijada la viga principal es de:

$$HVP = 595 + 1396 + 500 + 2833{,}32 = 5324{,}32 \text{ mm}$$

El elemento que soporta y da primordialmente su altura a la viga principal es el pilar o pilares. Sin embargo, las vigas carrileras y los raíles también favorecen la elevación de la viga principal. En este sentido, de los 534,32 mm a los que debe colocarse la viga principal, 5000 estarán supeditados por los pilares. El resto (324,32 mm), se presupone que podrán ser alcanzados por la aportación de la viga carrilera y los raíles.

Las alturas finales quedan reflejadas en el apartado 10.

6.1.2 Cargas

- Carga útil o nominal: es el peso de los aparatos a elevar (bobina). Q = 1 toneladas.
- Aparejos: incluye el peso de la garra, los cables, las poleas y el carro-polipasto. Q = 0,75 toneladas.
- Carga de servicio: es la suma de la carga útil y de los aparejos. Por tanto, S_L = 1,75 toneladas.

6.1.3 Periodo de servicio

La vida útil de la grúa se establece en 50 años (la estructura de la grúa). Se considera que funcionará una media de 250 días al año, realizando 54 ciclos de maniobra al día.

6.1.4 Aspectos técnicos

La alternativa considerada como óptima será la que suponga la utilización de una menor cantidad de material, en este caso acero, en su construcción.

El acero empleado será S-275, con f_y = 275 MPa y f_u =410 MPa.

6.2 Clasificación de la viga de la grúa

La norma UNE 58112-1:1991 [E] establece una clasificación general para los aparatos de elevación partiendo del número máximo de ciclos de maniobra previstos durante la vida útil del aparato y de un parámetro denominado *estado de carga*. Se considera que un ciclo de maniobra se inicia en el momento en que una carga está preparada para ser desplazada y finaliza cuando el aparato está dispuesto para desplazar la siguiente carga.

6.2.1 Clase de utilización

La siguiente tabla muestra la clase de utilización del aparato en función del número máximo de ciclos de maniobra.

Clase de utilización	Número máximo de ciclos de maniobra	Observaciones
U_0	$1,6 \times 10^4$	Utilización ocasional
U_1	$3,2 \times 10^4$	
U_2	$6,3 \times 10^4$	
U_3	$1,25 \times 10^5$	
U_4	$2,5 \times 10^5$	Utilización regular en servicio ligero
U_5	5×10^5	Utilización regular en servicio intermitente
U_6	1×10^6	Utilización regular en servicio intensivo
U_7	2×10^6	Utilización intensiva
U_8	4×10^6	
U_9	Más de 4×10^6	

Tabla 37. Clase de utilización

Considerando los datos de partida, el número máximo de ciclos de maniobra del aparato será de 675.000 ciclos, que se corresponde con una **clase de utilización U5** (Utilización regular en servicio intermitente).

6.2.2 Estado de carga

El estado de carga aparece en la Tabla 38 y se puede definir como el número de veces que es elevada una carga de un orden de magnitud determinado correspondiente a la capacidad del aparato. Asociado al estado de carga aparece el coeficiente del espectro de cargas K_p.

Estado de carga	Coeficiente nominal del espectro de las cargas K_p	Observaciones
Q1 – Ligero	0,125	Aparato que levanta raramente la carga máxima de servicio y corrientemente cargas muy pequeñas
Q2 – Moderado	0,25	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga máxima de servicio y corrientemente cargas pequeñas
Q3 – Pesado	0,50	Aparato que levanta con bastante frecuencia la carga máxima de servicio y corrientemente cargas medianas
Q4 – Muy pesado	1,00	Aparato que corrientemente maneja cargas próximas a la carga máxima de servicio

Tabla 38. Estado de carga

El aparato es susceptible de pertenecer al **estado de carga Q4** (Muy pesado), ya que se limita a cargar las bobinas para las que está diseñado, estando éstas próximas a la máxima carga de servicio.

6.2.3 Grupo de clasificación del aparato

Una vez conocida la clase de utilización y el estado de carga, se puede especificar el grupo al que pertenece el aparato según la siguiente tabla.

Estado de carga	Coeficiente nominal del espectro de las cargas K_p	Clases de utilización y número máximo de ciclos de maniobra del aparato									
		U_0	U_1	U_2	U_3	U_4	U_5	U_6	U_7	U_8	U_9
Q1 – Ligero	0,125	A1	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
Q2 – Moderado	0,25	A1	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8
Q3 – Pesado	0,5	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8
Q4 – Muy pesado	1,0	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A8	A8	A8

Tabla 39. Grupo de clasificación del aparato

Teniendo en cuenta los parámetros obtenidos anteriormente la grúa objeto del estudio queda englobada en el **grupo A7**.

6.3 Bases de cálculo

Para el dimensionado de la viga principal se realizarán las comprobaciones relativas al método de los estados límite. Los estados límite se pueden definir como las situaciones que, en caso de ser superadas, suponen que la estructura no cumple alguna de las funciones para las que ha sido proyectada. Los estados límite se dividen en dos.

6.3.1 Estados Límite de Servicio

Los Estados Límite de Servicio (en adelante, ELS) son las situaciones para las que no se cumplen los requisitos de funcionalidad, durabilidad, confort o apariencia de la estructura.

En este caso, la comprobación se lleva a cabo con tal de que la flecha de la viga no supere un valor máximo establecido F_{adm}. La superación de esta flecha no pondría en riesgo de colapso a la estructura, pero sí que podría afectar negativamente al funcionamiento de los elementos móviles de la grúa.

6.3.2 Estados Límite Últimos

Los Estados Límite Últimos (en adelante, ELU) son aquellos que producen el fallo de la estructura, por colapso o ruina total o parcial. Se verifica la resistencia tanto a nivel de sección como del elemento entero.

6.4 Acciones sobre la viga principal

La norma UNE 58132-2:2005 especifica las acciones que deben considerarse en el cálculo de las estructuras de los aparatos de elevación en general. Estas acciones pueden englobarse en cuatro grupos:

- Solicitaciones principales, en el estado de carga más desfavorable.
- Solicitaciones debidas a los movimientos verticales.
- Solicitaciones debidas a los movimientos horizontales.

- Solicitaciones debidas a los cambios climáticos.

6.4.1 Solicitaciones principales

Las solicitaciones principales engloban:

- Peso propio de la viga principal, S_G. Este valor va en función del dimensionado del perfil.
- Carga de servicio, S_L. Constituida por el peso de la carga a elevar o nominal (bobina de 1000 kg) sumada al peso del conjunto carro-polipasto, la garra, el mecanismo de giro y las poleas y cables o aparejos (750 kg). Todas estas cargas móviles se supondrán en la posición más desfavorable.

6.4.2 Solicitaciones debidas a movimientos verticales

Estas acciones provienen del levantamiento más o menos brusco de la carga de servicio, de las aceleraciones o deceleraciones en el movimiento de elevación y de los choques verticales debidos a la rodadura del cable sobre las poleas. Quedan aplicadas mayorando la carga de servicio con un coeficiente dinámico Ψ que se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\Psi = 1 + \xi \cdot V_L$$

V_L; velocidad de elevación, en m/s
ξ; coeficiente experimental obtenido a partir de numerosas mediciones.
Para grúas pórtico se toma ξ = 0,6.

$$\Psi = 1 + 0{,}6 \cdot 0{,}08333 = 1{,}05$$

6.4.3 Solicitaciones debidas a movimientos horizontales

Las solicitaciones debidas a movimientos horizontales que se deben considerar son:

- Fuerza de inercia de la carga debida a la traslación de la viga principal S_{Hp}.
- Fuerza de inercia de la carga debida al movimiento del carro S_{Hc}.

La fuerza de inercia es una fuerza horizontal ficticia que se aplica en el punto de suspensión de la carga y que produce el mismo efecto sobre el movimiento considerado que el par acelerador o decelerado aplicado por el motor o el freno.

La fuerza de inercia máxima de la carga producida por aceleraciones (o deceleraciones) horizontales de la carga se puede calcular como:

$$F_{cm} = \Psi_h \cdot F_{cm} = \Psi_h \cdot m_1 \cdot \mathrm{j}_m$$

m_1; la masa de la carga;
j_m; es la aceleración (o deceleración) media del punto de suspensión de la carga.

6.4.3.1 Traslación de la viga principal

Para el cálculo de la fuerza de inercia debida a la traslación de la viga principal completa se debe tomar:

$$\Psi_h = 2$$

Por tanto;

$$S_{HP} = 2 \cdot 1500 \cdot 0{,}078 = 234\ N$$

6.4.3.2 Traslación del carro

Por su parte, en el cálculo de la fuerza de inercia debida a la traslación del carro se tomará:

$$\Psi_h = \sqrt{2 + \mu + \frac{1}{\mu}} = \sqrt{2 + \frac{m_1}{m} + \frac{m}{m_1}}$$

m_1; masa de la carga. m_1 = 1500 kg
m; masa del carro-polipasto. m =250 kg

$$\Psi_h = \sqrt{2 + \frac{1500}{250} + \frac{250}{1500}} = 2{,}86$$

$$S_{HC} = 2{,}86 \cdot 1500 \cdot 1500 = 335\ N$$

6.4.4 Solicitaciones debidas a los efectos climáticos

Comprenden la acción del viento, las sobrecargas de nieve y los cambios de temperatura. Debido a las características de funcionamiento y al entorno en el que se ubica el puente grúa, la sobrecarga de nieve y los cambios de temperatura son irrelevantes, por lo que no se calculan. Únicamente se tiene en cuanta la acción del viento, que se obtiene según el CTE DB SE AE.

El puente grúa requiere de una gran precisión. Su uso se deberá restringir a los momentos en los que las puertas de la nave industrial permanezcan cerradas y el viento en el interior sea mínimo. Aun así, se calcula la acción del viento estando el aparato fuera de servicio. La acción de esta fuerza se contemplará en la viga principal.

La acción de viento, en general una fuerza perpendicular a la superficie de cada punto expuesto, o presión estática q_e, puede expresarse como:

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

q_b; la presión dinámica del viento. Pueden obtenerse valores precisos mediante el anejo D, en función del emplazamiento geográfico de la obra.

El valor básico de la presión dinámica del viento puede obtenerse con la expresión:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v_b^2$$

El valor básico de la velocidad del viento en cada localidad puede obtenerse del mapa de Ilustración 83. El de la presión dinámica es, respectivamente de 0,42 kN/m^2, 0,45 kN/m^2 y 0,52 kN/m^2 para las zonas A, B y C de dicho mapa.

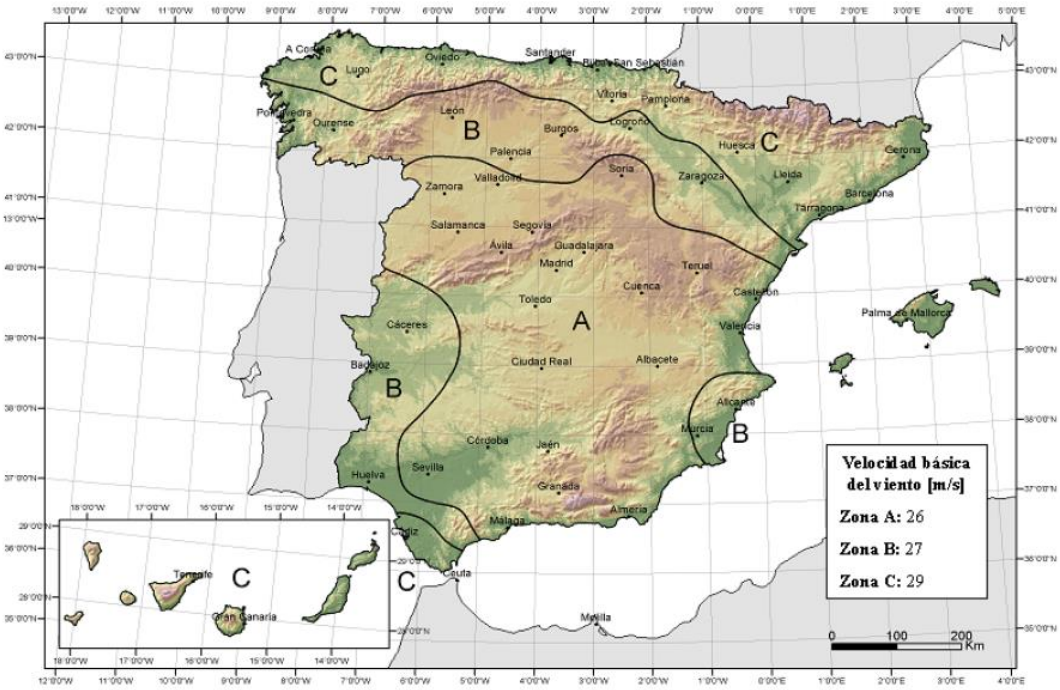


Ilustración 83. Valor básico de la velocidad del viento

A Arrúbal por encontrarse en la ZONA B le corresponde una v_b = 0,45 kN/m^2

La densidad del aire puede tomar el valor de $\delta = 1{,}25\ kg/m^3$

C_e, el coeficiente de exposición, variable con la altura del punto considerado, en función del grado de aspereza del entorno donde se encuentra ubicada la construcción. Se determina de acuerdo con lo establecido en 3.3.3.

El coeficiente de exposición tiene en cuenta los efectos de las turbulencias originadas por el relieve y la topografía del terreno. Su valor se toma de la Tabla 40.
El grado de aspereza es IV y la altura del punto (viga) cercano a los 6 metros.

	Grado de aspereza del entorno	Altura del punto considerado (m)							
		3	6	9	12	15	18	24	30
I	Borde del mar o de un lago, con una superficie de agua en la dirección del viento de al menos 5 km de longitud	2,4	2,7	3,0	3,1	3,3	3,4	3,5	3,7
II	Terreno rural llano sin obstáculos ni arbolado de importancia	2,1	2,5	2,7	2,9	3,0	3,1	3,3	3,5
III	Zona rural accidentada o llana con algunos obstáculos aislados, como árboles o construcciones pequeñas	1,6	2,0	2,3	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1
IV	Zona urbana en general, industrial o forestal	1,3	1,4	1,7	1,9	2,1	2,2	2,4	2,6
V	Centro de negocio de grandes ciudades, con profusión de edificios en altura	1,2	1,2	1,2	1,4	1,5	1,6	1,9	2,0

Tabla 40. Valores del coeficiente de exposición

C_e = 1,4

cp, el coeficiente eólico o de presión, dependiente de la forma y orientación de la superficie respecto al viento, y en su caso, de la situación del punto respecto a los bordes de esa superficie; un valor negativo indica succión. Su valor es de 1.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

$$q_e = \left(\frac{1}{2} \cdot \delta \cdot v_b^2\right) \cdot c_e \cdot c_p = \left(\frac{1}{2} \cdot 1{,}25 \cdot 0{,}45^2\right) \cdot 1{,}4 \cdot 1 = 0{,}1772\ kN/m^2$$

La fuerza del viento ataca a la estructura principalmente de manera frontal, ya sea por la parte delantera o por la trasera. Por tanto, se tendrán dos valores del viento incompatibles entre sí, es decir, solo podrá actuar sobre la estructura o V_1 o V_2, pero en ningún caso ambos simultáneamente. Dada la simetría de la estructura, se contempla un caso únicamente.

La fuerza que soportan la superficie de la viga principal se implementará tras el primer cálculo en CYPE, ya que toda incidencia del viento sobre una viga se debe establecer sobre CYPE como una carga distribuida longitudinal, es decir, con unidades en (kN/m). Por tanto, se debe multiplicar previamente q_e por el ancho del perfil. Se procederá a realizar este paso una vez se tenga el prediseño del perfil.

6.5 Combinación de acciones

6.5.1 Estados límite últimos

La combinación de acciones se realiza atendiendo la norma UNE 58132-2:2005 [F], en función de los casos más desfavorables (carga en mitad de la viga principal). Debido al funcionamiento del puente grúa, se tienen 4 casos de estudio, ya que los movimientos del carro, de la viga principal y de levantamiento de la carga no son simultáneos, sino que se producen de manera individual.

Las acciones serán incrementadas por el coeficiente de mayoración, que depende del grupo al que pertenece el aparato y que aparece en la siguiente tabla. A_5 = 1,11.

Grupo del aparato	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8
γ_c	1,00	1,02	1,05	1,08	1,11	1,14	1,17	1,20

Tabla 41. Coeficientes de mayoración en aparatos de elevación

6.5.1.1 Caso I

Se consideran las acciones estáticas debidas al peso propio de la viga principal S_G (carga distribuida) y las debidas a la carga de servicio S_L (carga puntual). Para este CASO I la carga de servicio se divide en dos. Por un lado, está el peso del carro-polipasto y por otro el peso a elevar por el mismo (garra, bobina…) Este último peso está mayorado por el coeficiente dinámico *Ψ (*levantamiento de la carga).

En todos los casos se establece que la carga de servicio actúa en el centro de la viga principal y se estudia como una carga puntual vertical, con objeto de simplificar el cálculo.

$$(S_G + S_{L1} + S_{L2} \cdot \Psi) \cdot \gamma_c = (S_G + 2500 + 15000 \cdot 1{,}05) \cdot 1{,}17 = 1{,}17 \cdot S_G + 21352{,}5$$

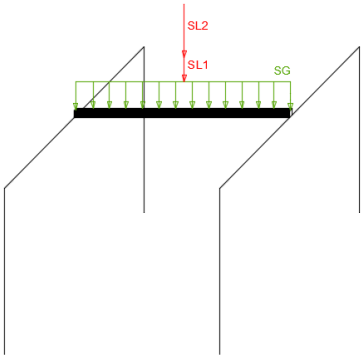


Ilustración 84. Caso I

6.5.1.2 Caso II

Se consideran las acciones estáticas debidas al peso propio de la viga principal *SG* (carga distribuida) las debidas a la carga de servicio S_L (carga puntual) y los efectos horizontales debidos al movimiento del carro S_{HC}.

$$(S_G + S_L + S_{HC}) \cdot \gamma_c = (S_G + 17500 + 335) \cdot 1{,}17 = S_G \cdot 1{,}17 + 20475 + 391{,}95$$

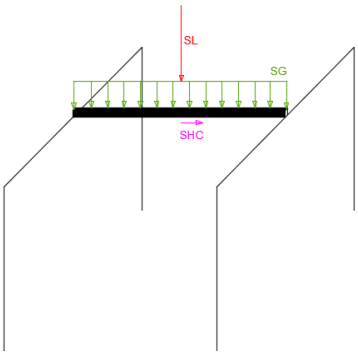


Ilustración 85. Caso II

6.5.1.3 Caso III

Se consideran las acciones estáticas debidas al peso propio de la viga principal S_G (carga distribuida), las debidas a la carga de servicio S_L (carga puntual) y los dos efectos horizontales más desfavorables debidos a la traslación de la viga principal S_H.

$$(S_G + S_L + S_{HP}) \cdot \gamma_c = (S_G + 17500 + 234) \cdot 1{,}17 = S_G \cdot 1{,}17 + 20475 + 273{,}78$$

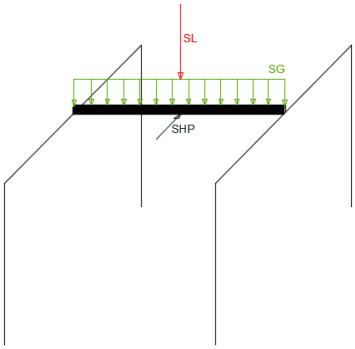


Ilustración 86. Caso III

6.5.1.4 Caso IV

Se consideran las acciones estáticas debidas al peso propio de la viga principal S_G (carga distribuida), las debidas a la carga de servicio y la acción del viento. Esta opción solo se puede dar cuando el puente grúa no está en movimiento, ya que en caso de que la puerta más próxima al puente grúa esté abierta, este debe detener su movimiento.

$$(S_G + S_L + q_e) \cdot \gamma_c = (S_G + 17500 + q_e) \cdot 1{,}17 = S_G \cdot 1{,}17 + 20475 + q_e \cdot 1{,}17$$

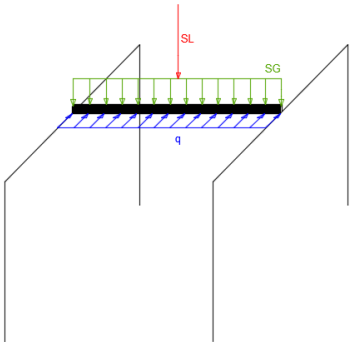


Ilustración 87. Caso IV

La carga del viento viene fijada en forma de N/m^2. En CYPE se multiplicará el valor de 177,2 N/m^2 por la altura del perfil para obtener una carga distribuida que se pueda implementar sobre la longitud de la viga principal.

6.5.2 Estados límite de servicio

Los cuatro casos de combinaciones descritos anteriormente se utilizan en el dimensionado y comprobación de los ELU. Para la comprobación del ELS de deformación (comprobación de la flecha máxima en las vigas) se emplea únicamente la combinación de acciones del caso I, eso sí, eliminando el coeficiente de mayoración.

$$S_G + (S_{L1} + S_{L2} \cdot \Psi) = S_G + (2500 + 15000 \cdot 1{,}05) = S_G + 18250$$

Dada la elevada precisión que requiere el aparato, con la aplicación de esta hipótesis de cálculo se debe verificar que la flecha máxima F_{max} no supera la máxima admisible F_{adm}, que para este tipo de aparatos de elevación es la milésima parte de la longitud de la viga (6,5 metros).

$$F_{max} \leq F_{adm} = \frac{L}{1000}$$

6.6 Viga principal en CYPE

La viga principal es dibujada en CYPE para su posterior optimización. Previamente se han configurado los valores del programa para trabajar con acero S275 y conforme a las normas del CTE. Pese a seguir la norma UNE 58132-2:2005, en CYPE se opera conforme al CTE, con la salvedad de que se manipulan los valores de las fuerzas para permitir que el coeficiente $\gamma_c = 1{,}17$ permanezca inmutable.

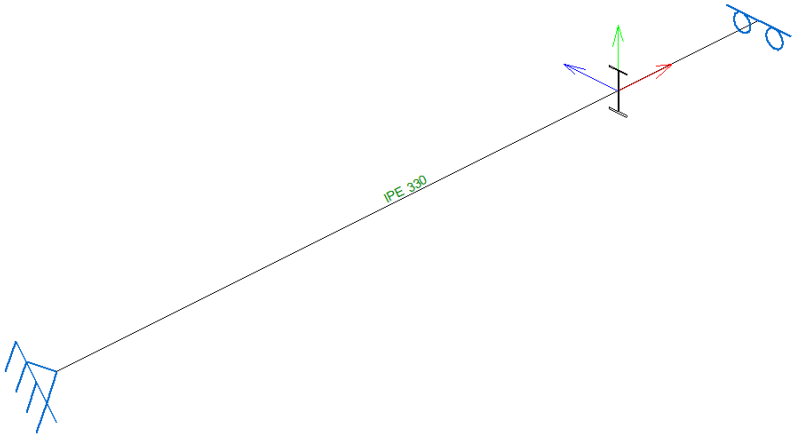


Ilustración 88. Viga principal en CYPE

En cuanto a los apoyos, se tiene por un extremo un empotramiento, mientras que el otro es un empotramiento con desplazamiento libre en el eje x.

Las restricciones de flecha máxima en el plano xy son de 1 mm. Se escoge este valor para permitir un funcionamiento correcto del carro en su desplazamiento a lo largo de la viga principal.

La flecha máxima absoluta en xz corresponde con 6,5 mm (L/1000).

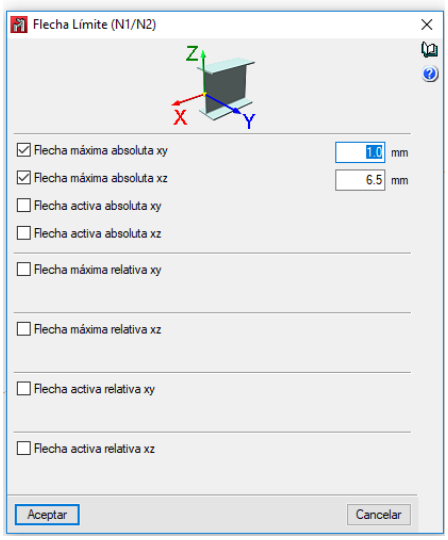


Ilustración 89. Límites de flecha viga principal en CYPE

En cuanto a las cargas, para que exista correspondencia entre el planteamiento del problema y las cargas introducidas en CYPE se ha operado de la siguiente forma.

La carga del peso propio la emite el propio software por defecto. Además, para cada uno de los casos se han creado las cargas pertinentes actuando de manera simultánea. Sin embargo, las acciones de un caso es imposible que actúen mientras se están dando las de otro.

Por tanto, se tienen la siguiente tabla de acciones. Las cargas puntuales están expresadas en kN. Se han reducido los valores, ya que CYPE multiplica estos valores por 1,35. Sin embargo, la norma únicamente exige multiplicarlos por 1,17. Por este motivo estos valores se encuentran divididos entre 1,15.

Cargas en la viga principal										
Barra	Hipótesis	Tipo	Valores		Posición		Dirección			
			P1	P2	L1 (m)	L2 (m)	Ejes	X	Y	Z
N1/N2	Peso propio	Uniforme	0.482	-	-	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	caso1	Puntual	15.87	-	3.250	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	caso2	Puntual	15.22	-	3.250	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	caso2	Puntual	0.3	-	3.250	-	Globales	0.000	1.000	0.000
N1/N2	caso3	Puntual	15.22	-	3.250	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	caso3	Puntual	0.2	-	3.250	-	Globales	-1.000	0.000	0.000
N1/N2	caso4	Puntual	15.22	-	3.250	-	Globales	0.000	0.000	-1.000
N1/N2	caso4	Uniforme	0.037	-	-	-	Globales	-1.000	0.000	0.000

Tabla 42. Cargas actuantes en la viga principal

6.6.1 Análisis y optimización de la viga principal

Para comenzar los análisis y la optimización de la viga principal, tanto para sus límites últimos como sus límites de servicio, se estudia un perfil IPE 80.

Tras las operaciones matemáticas realizadas por CYPE, el programa muestra la siguiente tabla donde aparece el porcentaje de resistencia y flecha de cada perfil.

Comprobación

Perfil	Peso	Resistencia	Flecha
✗ IPE 80	6.00	722.18 %	11009.5...
✗ IPE 100	8.09	426.65 %	5157.12 %
✗ IPE 120	10.36	277.52 %	2773.17 %
✗ IPE 140	12.87	191.02 %	1630.07 %
✗ IPE 160	15.78	136.30 %	1014.81 %
✗ IPE 180	18.76	101.87 %	669.60 %
✗ IPE 200	22.37	76.66 %	453.87 %
✗ IPE 220	26.22	59.41 %	318.13 %
✗ IPE 240	30.69	46.17 %	226.58 %
✗ IPE 270	36.03	35.02 %	152.31 %
✗ IPE 300	42.23	27.00 %	105.77 %
✓ IPE 330	49.14	21.14 %	81.07 %
✓ IPE 360	57.07	16.70 %	61.25 %
✓ IPE 400	66.33	13.08 %	48.47 %
✓ IPE 450	77.56	10.09 %	38.12 %
✓ IPE 500	91.06	7.86 %	29.83 %
✓ IPE 550	105.19	6.45 %	23.95 %
✓ IPE 600	122.46	5.14 %	18.86 %

Tabla 43. Comprobación viga principal en CYPE.

El perfil más pequeño que cumple las necesidades de diseño es el IPE 330. Como resulta evidente, los mayores problemas surgen con el límite de flecha, pues la automatización no permite valores superiores. El aprovechamiento será de:

- **Aprovechamiento de resistencia: 21,14 %**

Comprobación de resistencia										
Barra	η (%)	Posición (m)	Esfuerzos pésimos						Origen	Estado
			N (kN)	Vy (kN)	Vz (kN)	Mt (kN·m)	My (kN·m)	Mz (kN·m)		
N1/N2	21.14	3.250	0.000	0.158	-11.812	0.00	41.83	-0.51	G	Cumple

Tabla 44. Aprovechamiento a resistencia del perfil IPE 330

Referencias:

N: Esfuerzo axil (kN)
Vy: Esfuerzo cortante según el eje local Y de la barra. (kN)
Vz: Esfuerzo cortante según el eje local Z de la barra. (kN)
Mt: Momento torsor (kN·m)
My: Momento flector en el plano 'XZ' (giro de la sección respecto al eje local 'Y' de la barra). (kN·m)
Mz: Momento flector en el plano 'XY' (giro de la sección respecto al eje local 'Z' de la barra). (kN·m)
η: Aprovechamiento de la resistencia. La barra cumple con las condiciones de resistencia de la norma si se cumple que $\eta \leq 100$ %.

Los esfuerzos indicados son los correspondientes a la combinación pésima, es decir, aquella que demanda la máxima resistencia de la sección.

- **Aprovechamiento de flecha: 81,07 %**

Comprobación a flecha								
Grupo	Flecha máxima absoluta xy Flecha máxima relativa xy		Flecha máxima absoluta xz Flecha máxima relativa xz		Flecha activa absoluta xy Flecha activa relativa xy		Flecha activa absoluta xz Flecha activa relativa xz	
	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)	Pos. (m)	Flecha (mm)
N1/N2	3.250 3.250	0.81 L/(>1000)	3.250 3.250	4.87 L/(>1000)	3.250 3.250	0.81 L/(>1000)	3.250 3.250	4.40 L/(>1000)

Tabla 45. Aprovechamiento a flecha del perfil IPE 330

En la siguiente imagen se detallan los datos y características de este perfil:

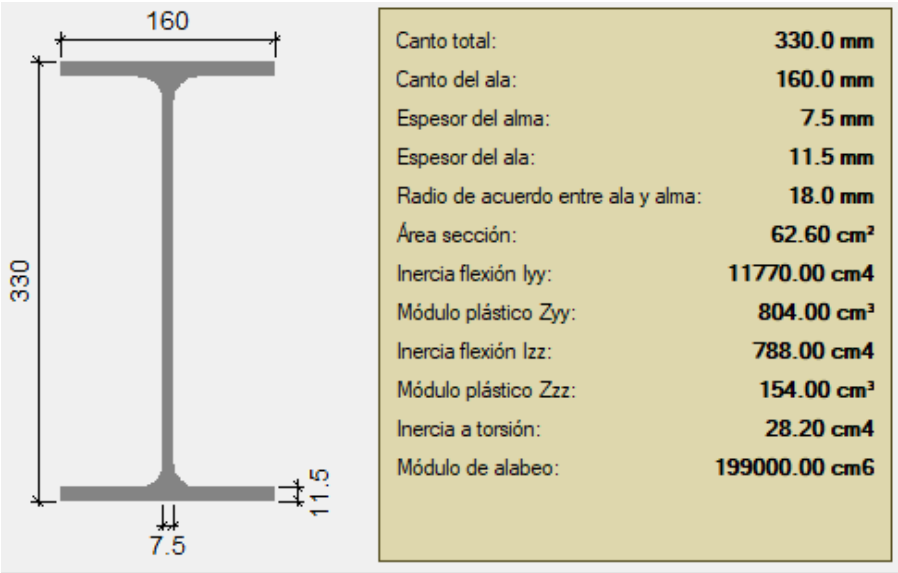


Ilustración 90. Datos perfil IPE 330

6.6.2 Esfuerzos viga principal

6.6.2.1 Axil

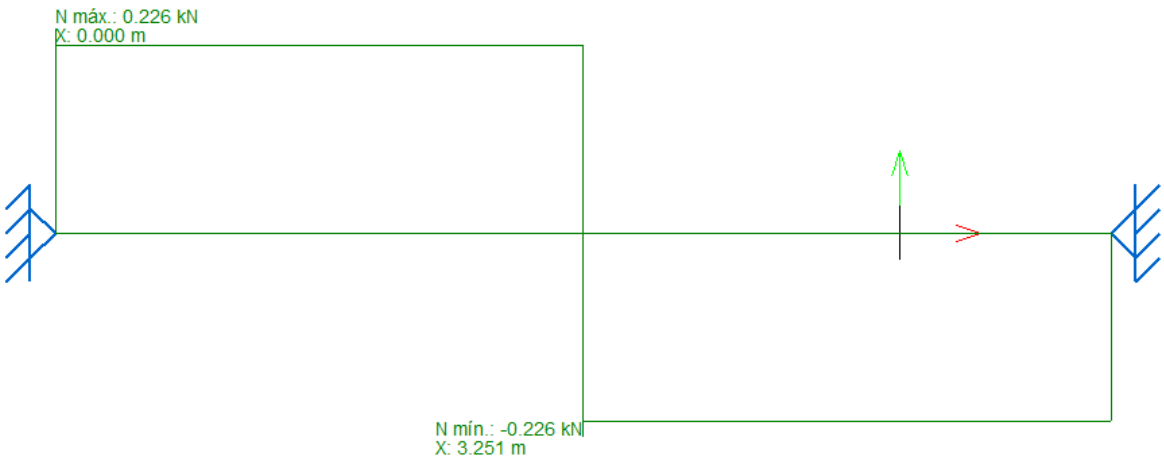


Ilustración 91. Axil de la viga principal

El esfuerzo axil es relativamente pequeño, ya que, las fuerzas que comprimen o traccionan a la barra son de escaso valor.
En la imagen se aprecia la envolvente en el caso estudiado, donde la parte izquierda se encuentra traccionada, mientras que la parte derecha está trabajando a compresión. Como es lógico, en otras situaciones el signo del axil se revertiría, pero siendo siempre el valor absoluto el mismo.

Axil máximo: $\pm\ 0{,}226\ kN$

6.6.2.2 Cortante en z

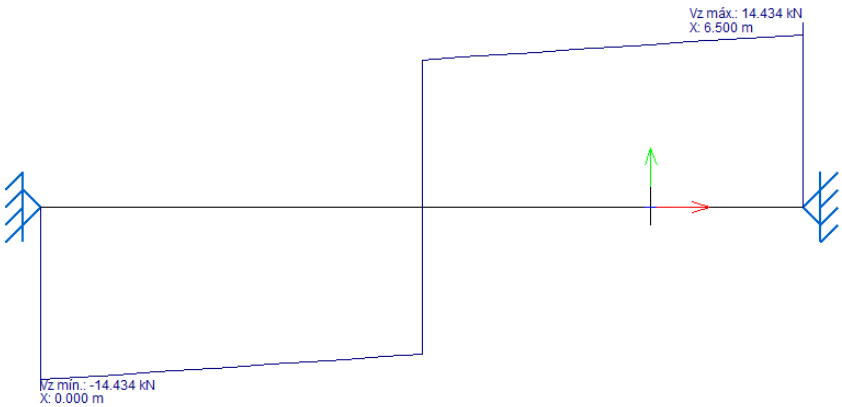


Ilustración 92. Cortante de la viga principal

El cortante es máximo en los extremos debido a la carga distribuida que supone el peso propio de la viga principal.

Cortante máximo: $\pm\ 14{,}434\ kN$

6.6.2.3 Momento en y

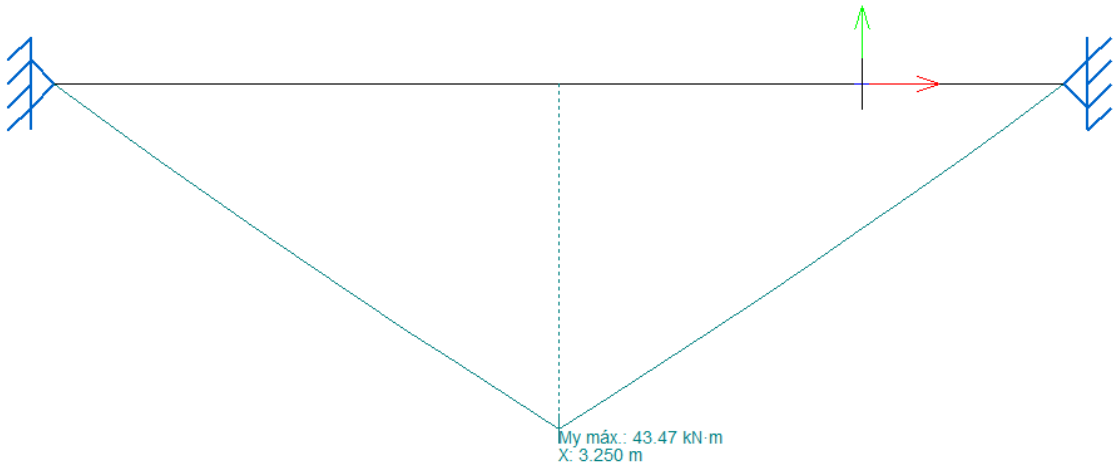


Ilustración 93. Momento de la viga principal

El mayor momento se produce en el centro de la viga principal. Este esfuerzo es el que provoca las mayores solicitaciones en la barra y, por tanto, el culpable de escoger un perfil de estas dimensiones.

Momento máximo: $+\ 43{,}47\ kNm$

6.6.3 Flecha viga principal

6.6.3.1 Flecha en xy

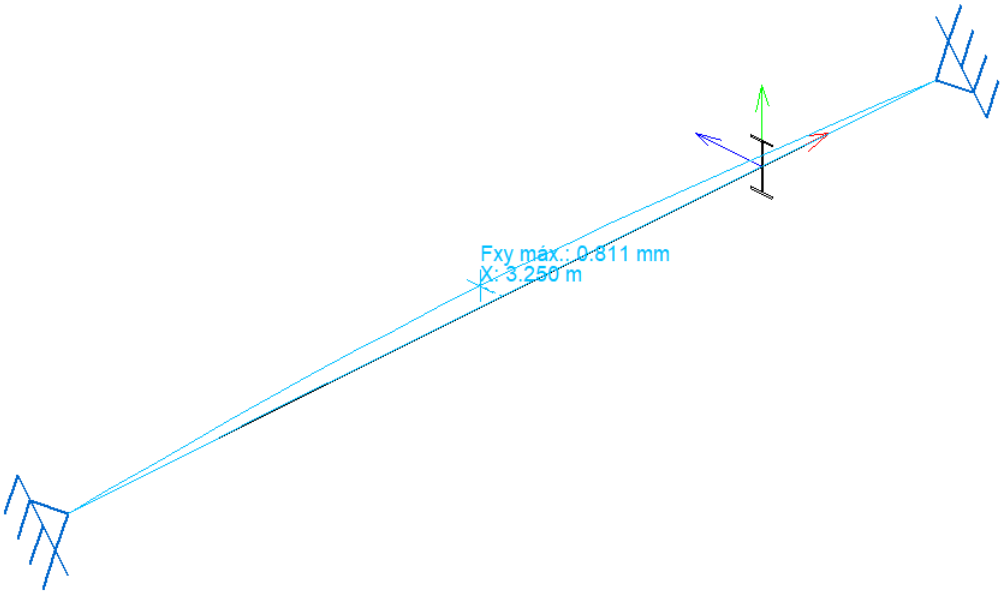


Ilustración 94. Flecha xy viga principal

Este valor está directamente relacionado con la flecha máxima absoluta. Como se aprecia en la imagen, el valor máximo se produce en el centro de la viga y asciende a 0,811 mm (no supera el límite establecido).

6.6.3.2 Flecha en xz CARGADO

El hecho de que aparezca el apellido "CARGADO" solo significa que esta flecha se ha calculado bajo las solicitaciones máximas, es decir, cuando se porta la bobina.

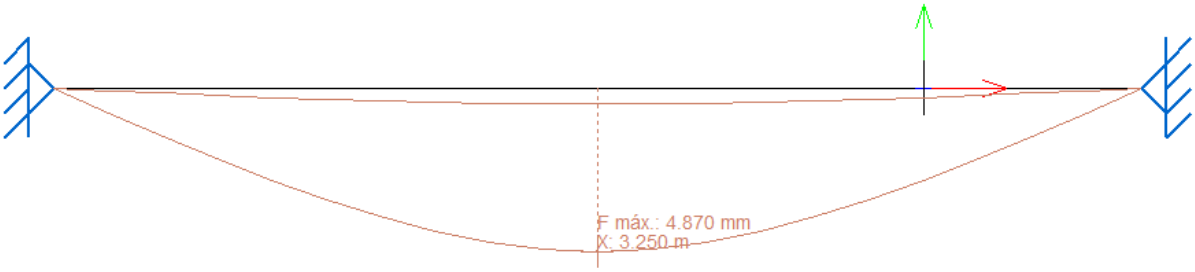


Ilustración 95. Flecha xz viga principal CARGADA

La flecha máxima es de 4,87 mm y se produce en el centro de la viga principal. Este descenso se ajusta a las restricciones de diseño $\frac{L}{1000}$, pero hay que tener en cuenta que existen más elementos susceptibles de ser flexionados o alargarse. Estos 4,87 mm hacen referencia a la viga aislada. La acumulación de descensos de los diferentes componentes marcará el descenso total del sistema, que se calculará más adelante.

6.6.3.3 Flecha en xz DESCARGADO

Este supuesto es diferente al estudiado anteriormente. Se han modificado los valores de las fuerzas en CYPE eliminando los pesos de la bobina y los ejercidos al elevarla y trasladarla, con lo que únicamente se tiene el peso de la viga principal y el de los aparejos (carro, cableado, garra). De esta manera se estudia la flecha cuando la viga está descargada, pero que también sufre una flecha.

Este caso de estudio se resume en la siguiente ecuación:

$$(S_G + S_D) \cdot \gamma_c = (S_G + 7500) \cdot 1{,}17 = S_G \cdot 1{,}17 + 8775$$

Con; $S_D = S_L - PesoBobina = 17500 - 1000 = 7500$

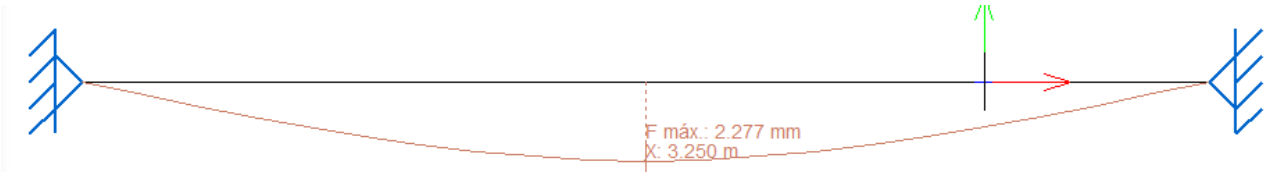


Ilustración 96. Flecha xz viga principal DESCARGADA

Como muestra CYPE, la flecha máxima con la viga descargada es de 2,277 mm. Este descenso es continuo una vez se coloque la viga principal en obra con sus accesorios.

Cabe decir que el valor máximo solo se produce cuando el carro se sitúe en el centro de la viga.

De cara a la automatización este descenso no se contabiliza, por lo que el descenso de 2,277 mm hace referencia a lo que se designa como cota cero.

De este modo, el descenso que sufre la viga cuando porte la bobina se corresponde con la diferencia entre las dos flechas calculadas. Así tendremos;

$$\delta_{TOTAL} = 4{,}87\ mm$$

$$\delta_{DESCARGADA} = 2{,}277\ mm$$

$$\delta_{RELATIVO} = \delta_{TOTAL} - \delta_{DESCARGADA} = 4{,}87 - 2{,}277 = 2{,}593\ mm$$

En definitiva, en el momento en que la garra abraza a la bobina y el mecanismo de elevación comienza a elevarla, la viga principal sufre un descenso de 2,593 mm.

6.7 Comprobaciones por resistencia de materiales

6.7.1 Comprobación de la flecha mediante la ecuación general de la elástica

La flecha que sufre la viga principal se calcula por medio de la ecuación general de la elástica. La expresión matemática de esta ecuación es igual a:

$$EI \cdot y'' = M \longrightarrow y'' = \frac{M}{EI}$$

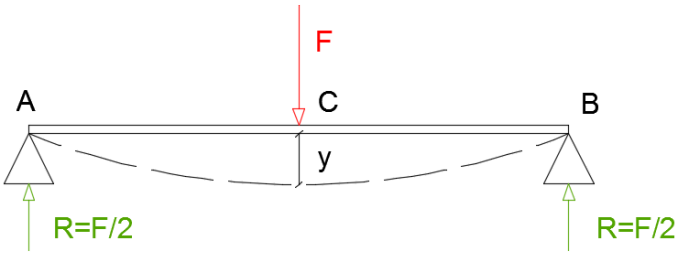


Ilustración 97. Acciones y reacciones en la viga principal

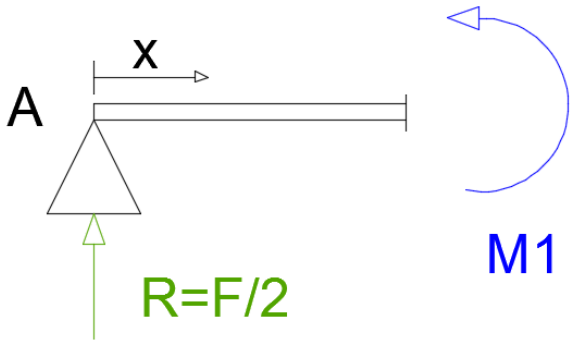


Ilustración 98. Momento en el tramo 1

$$y'' = \frac{M}{EI} = \frac{1}{EI} \cdot \frac{F}{2} \cdot x$$

Ecuación del giro:

$$y' = \int y'' + A$$

$$y' = \int_0^{L/2} \frac{F \cdot x}{2 \cdot EI} + A = \frac{1}{EI} \cdot \left[\frac{F \cdot x^2}{4} + A\right]$$

Como;

$$y'\left(x = \frac{L}{2}\right) = 0$$

$$\frac{1}{EI} \cdot \left[\frac{F \cdot x^2}{4} + A\right] = 0 \rightarrow A_1 = -\frac{F \cdot L^2}{16 \cdot EI}$$

Por tanto;

$$y' = \frac{1}{EI} \cdot \left[\frac{F \cdot x^2}{4} - \frac{F \cdot L^2}{16}\right]$$

Ecuación de la flecha:

$$y = \int y' + A \cdot x + B$$

$$y = \int_0^{L/2} \frac{F \cdot x^2}{4 \cdot EI} - \frac{F \cdot L^2}{16 \cdot EI} \cdot x + B = \frac{1}{EI} \cdot \left[\frac{F \cdot x^3}{12} - \frac{F \cdot L^2}{32} \cdot x + B\right]$$

Como;

$$y(x = 0) = 0 \longrightarrow B = 0$$

$$y_c = \frac{1}{EI} \cdot \left[\frac{F \cdot \left(\frac{L}{2}\right)^3}{12} - \frac{F \cdot L^2}{32} \cdot L\right] = \frac{1}{EI} \cdot \frac{F \cdot L^3 - 3 \cdot F \cdot L^3}{96} = \frac{1}{EI} \cdot \frac{-F \cdot L^3}{48}$$

Resolviendo;

$$y_c = \frac{1}{EI} \cdot \frac{-F \cdot L^3}{48} = -\frac{1}{2{,}1 \cdot 10^{11} \cdot 1{,}1770 \cdot 10^{-4}} \cdot \frac{21352{,}5 \cdot 6{,}5^3}{48} = 4{,}94 \cdot 10^{-3}\ m = 4{,}94\ mm$$

Los resultados concuerdan. La flecha máxima en CYPE ascendía a 4,870 mm. Por medio de la ecuación de la elástica el resultado es de 4,94 mm.

6.7.2 Comprobación a flexión compuesta

Se tienen los siguientes valores de momento y axiles máximos, obtenidos en CYPE:

M_y=43,47 kNm

N=0,226 kN

$$\frac{M_y}{W_y \cdot f_{yd}} \pm \frac{N}{A \cdot f_{yd}} \leq 1$$

$$\frac{43470\ (Nm)}{804 \cdot 10^{-6}(m^3) \cdot \frac{275}{1{,}05} \cdot 10^6 \left(\frac{N}{m^2}\right)} \pm \frac{226\ (N)}{62{,}6 \cdot 10^{-4}(m^2) \cdot \frac{275}{1{,}05} \cdot 10^6 \left(\frac{N}{m^2}\right)} = 0{,}207 \leq 1$$

La relación se CUMPLE.

7 Vigas testeras

Las vigas testeras son los elementos que están ubicados a los extremos de la viga principal, unidos a este por medio de pernos, son los encargados de mover la viga principal del puente. Las ruedas del testero se deslizan sobre guías que están ubicadas a lo largo de la viga carrilera.

7.1 Dimensionado de las vigas testeras

La viga testera se selecciona dentro del catálogo que ofrece GH CRANES & COMPONENTS. La alternativa elegida de entre las que aparecen en la Tabla 46, es la rueda de 125 mm de diámetro y 1600 mm de distancia entre los ejes de sus ruedas. Se escoge la más corta debido a las limitaciones de espacio.

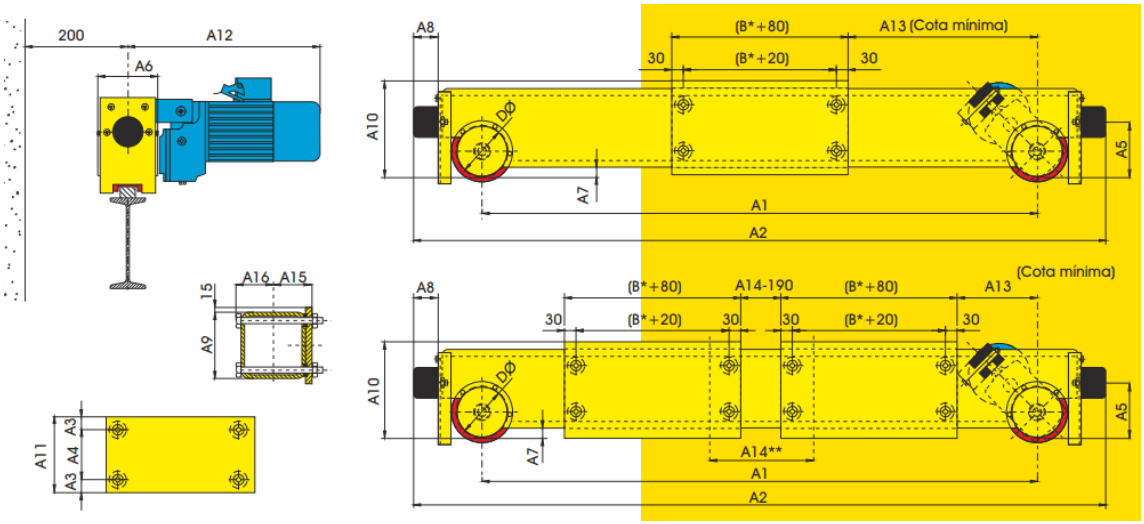


Ilustración 99. Testeros para viga monorraíl

DØ	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11	A12	A13	A14	Monorrail A15	Birrail A15	A16	Monorrail Peso (Kg)	Birrail Peso (Kg)
100	1600 2100 2600 3100 3600	1932 2432 2932 3432 3932	50	130	118 118 118 160 160	152	13	58	200	228	230	469	185	330 710 710 1010 1310	80	80	---		
125	1600 2100 2600 3100 3600	1960 2460 2960 3460 3960	50	130	125	171	20	80	200	235	230	475	185	-- 900 1200 1200 1500	97 (20) 107 (30)	97	103	135 160 185 210 235	-- 160 185 210 235
160	1600 2100 2600 3100 3600 4200	2035 2535 3035 3535 4035 4635	50	180	160	175	37.5	97	250	302.5	280	536	205 (3T) 295 (4T)	-- 900 1200 1200 1500 1800	107	97	103	175 205 235 265 295 330	-- 205 235 265 295 330

Tabla 46. Medidas testero para viga monorraíl

Dicho viga se comprueba por las leyes de la resistencia de materiales. La fuerza que incide sobre ella actúa en su mismo centro, y es la suma de la carga de servicio más la mitad del peso de la viga principal.

Tras calcular las reacciones, se obtiene el módulo elástico mínimo que debería adoptar el perfil de la viga testera.

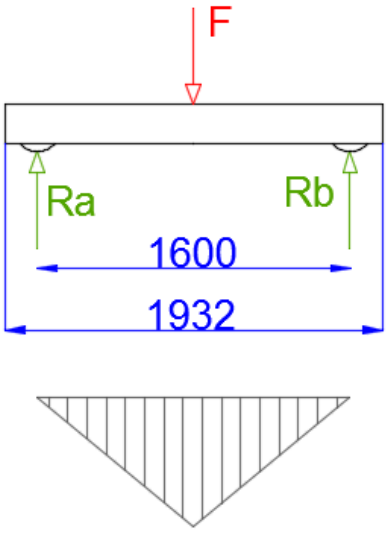


Ilustración 100. Fuerzas, reacciones y momentos en la viga testera

$$F = P_{VigaPrincipal} + P_{Carga} \cdot 1{,}05 = 2 + 17{,}5 \cdot 1{,}05 = 20{,}378\ kN$$

$$\Sigma M_a = 0 \longrightarrow R_b \cdot 1{,}600 - F \cdot 0{,}8 = 0$$

$$R_b = R_a = \frac{F}{2} = 10{,}2\ kN$$

$$M_{f.max} = F \cdot 0{,}8 = 20{,}4 \cdot 0{,}8 = 16{,}32\ kNm$$

$$\sigma = \frac{M_{f.max}}{W} \leq \sigma_{adm} = 261904 \left[\frac{kN}{m^2}\right]$$

$$W \geq \frac{M_{f.max}}{\sigma_{adm}} = \frac{16{,}32}{261904} = 62{,}31\ [cm^3]$$

Los cajones que provee GH adaptados para implantarse como vigas testeras más pequeños tienen un perfil 200x150x10 (H=200, B=150, t=10)

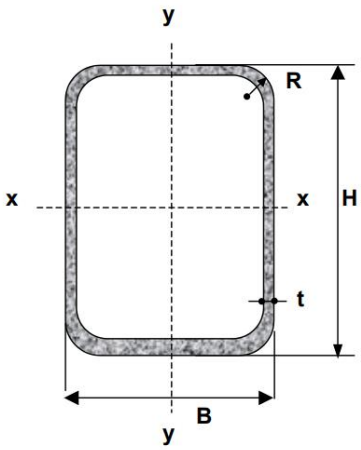


Ilustración 101. Perfil rectangular hueco de 200x150x10

Se comprueban los valores del módulo elástico en la tabla de perfiles.

DIMENSION ESPECIFICA DE LADOS		ESPESOR ESPECIFICO	MASA LINEAL	ÁREA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	MOMENTO DE INERCIA		RADIO DE GIRO		MÓDULO ELÁSTICO		MÓDULO PLÁSTICO		MOMENTO DE INERCIA DE TORSIÓN	MÓDULO DE TORSIÓN	SUPERFICIE LATERAL POR UNIDAD DE LARGO	LARGO NOMINAL POR TONELADA	ÁREA SUPERFICIE EXTERIOR POR METRO
H	B	T	M	A	I_{xx}	I_{yy}	i_{xx}	i_{yy}	W_{elxx}	W_{elyy}	W_{plxx}	W_{plyy}	I_t	C_t	A_s		$A_{s/v}$
mm	mm	mm	kg/m	cm^2	cm^4	cm^4	cm	cm	cm^3	cm^3	cm^3	cm^3	cm^4	cm^3	m^2/m	m	m^{-1}
200	100	10	41,3	52,6	2.444	818	6,82	3,94	244	164	318	195	2.154	292	0,557	24,2	106
200	100	12	47,1	60,1	2.607	876	6,59	3,82	261	175	350	215	2.415	322	0,538	21,2	89,6
200	100	12,5	48,7	62,0	2.659	892	6,55	3,79	266	178	359	221	2.474	329	0,536	20,5	86,3
200	120	3	14,6	18,6	1.041	477	7,48	5,06	104	79,4	125	88,3	1.027	133	0,630	68,5	338
200	120	4	19,3	24,5	1.353	618	7,43	5,02	135	103	164	115	1.345	172	0,626	51,9	255
200	120	5	23,8	30,4	1.649	750	7,37	4,97	165	125	201	141	1.652	210	0,623	42,0	205
200	120	6	28,3	36,0	1.929	874	7,32	4,93	193	146	237	166	1.947	245	0,619	35,4	172
200	120	6,3	29,3	37,4	1.976	898	7,27	4,90	198	150	244	172	2.040	255	0,613	34,1	164
200	120	7	32,3	41,2	2.151	975	7,23	4,87	215	163	267	188	2.237	277	0,610	31,0	148
200	120	8	36,5	46,4	2.386	1.079	7,17	4,82	239	180	298	209	2.507	308	0,606	27,4	130
200	120	10	44,4	56,6	2.806	1.262	7,04	4,72	281	210	356	250	3.007	364	0,597	22,5	106
200	120	12	50,9	64,9	3.031	1.368	6,84	4,59	303	228	395	278	3.420	406	0,578	19,6	89,1
200	120	12,5	52,6	67,0	3.099	1.397	6,80	4,57	310	233	406	285	3.515	416	0,576	19,0	85,9
200	120	14,2	58,2	74,2	3.297	1.484	6,67	4,47	330	247	440	309	3.804	446	0,567	17,2	76,4
200	150	3	16,0	20,4	1.215	785	7,72	6,20	122	105	143	118	1.478	168	0,690	62,4	338
200	150	4	21,2	26,9	1.584	1.021	7,67	6,16	158	136	187	154	1.942	219	0,686	47,3	255
200	150	5	26,2	33,4	1.935	1.245	7,62	6,11	193	166	230	189	2.391	267	0,683	38,2	205
200	150	6	31,1	39,6	2.268	1.457	7,56	6,06	227	194	271	223	2.826	313	0,679	32,1	171
200	150	6,3	32,3	41,1	2.330	1.499	7,53	6,04	233	200	280	230	2.965	325	0,673	31,0	164
200	150	7	35,6	45,4	2.542	1.634	7,49	6,00	254	218	307	252	3.259	356	0,670	28,1	148
200	150	8	40,2	51,2	2.829	1.816	7,43	5,95	283	242	344	283	3.665	396	0,666	24,9	130
200	150	10	49,1	62,6	3.348	2.143	7,31	5,85	335	286	413	339	4.428	471	0,657	20,4	105
200	150	12	56,6	72,1	3.668	2.353	7,14	5,71	367	314	463	380	5.100	532	0,638	17,7	88,6

Ilustración 102. Características de los perfiles rectangulares huecos

Es evidente que los módulos elásticos de ambos ejes son mayores de $62{,}31\ [cm^3]$, por lo cual este tubo de acero de sección rectangular es válido.

7.2 Dimensionado de las ruedas

Las ruedas están provistas de dos pestañas, la anchura entre las pestañas es ligeramente superior a la anchura del carril y el radio de las pestañas debe ser menor que el redondeo del carril para evitar que la rueda se monte sobre él.

Las unidades de ruedas están constituidas por una rueda aplicada con interferencia en un eje, a su vez, montados sobre rodamientos de rodillos a rótula, alojados en cajas porta cojinetes o directamente montados sobre las ruedas.

La rueda se obtiene a partir de un proceso de forjado triaxial, preformado y punzonado, que le confiere la orientación de las fibras necesarias para lograr valores de resistencia acordes al servicio al que están sometidas.

El acero empleado es usualmente 42 CrMo 4V o SAE 4140 con una tensión de rotura, σ_R = 110 a 120 [Kg/mm2], al cual se le realiza un tratamiento térmico de temple a 860 ºC y un revenido a 540 ºC alcanzando una dureza de 321 – 363 HB.

La siguiente tabla sirve de orientación a la hora de escoger una rueda, lo que a priori valida la opción de 125 mm de diámetro escogida. No obstante, se realizan los cálculos precisos para corroborar la elección del diámetro de rueda.

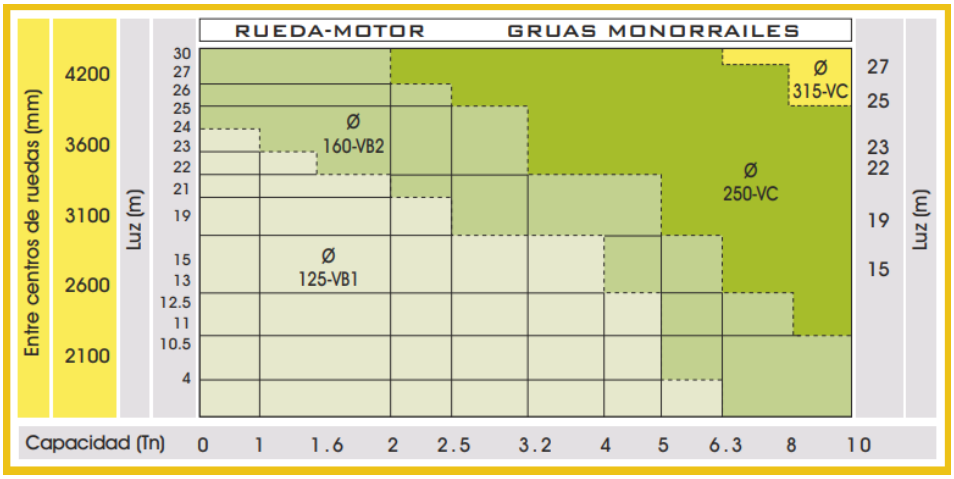


Tabla 47. Tabla de selección de ruedas monorraíl

Las normas DIN establecen la siguiente fórmula empírica para la determinación del diámetro de rodadura:

$$D_n \geq \frac{R_m}{p_{lim} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot b}$$

D_n: diámetro de la rueda en banda de rodadura, [mm]
R_m: reacción media sobre la rueda

$$R_m \geq \frac{2 \cdot R_{max} + R_{min}}{2}$$

R_{max}: máxima reacción sobre la rueda con carga nominal.

$$R_{max} = R_a + \frac{G}{4}$$

G: peso del carro o del puente grúa, [Kg]
R_{min}: reacción de la rueda sin carga y con la maquina detenida.

$$R_{min} = \frac{G}{4}$$

P_{lim}: presión límite del material utilizado, depende de la tensión de rodadura del acero utilizado y su relación con el grado de acero del riel, según tabla para acero SAE 4140: p_{lim} = 0.56 [Kg/mm^2]

Tensión de rotura		Presión limite	C_1
Riel [Kg/mm^2]	Rueda [Kg/mm^2]	[Kg/mm^2]	
	≤ 33	0.28	0.5
	41	0.36	0.63
59	49	0.45	0.8
	59	0.56	1

Tabla 48. Valor de presión límite en relación con materiales rueda/riel

C2: coeficiente función de la velocidad de rotación de la rueda

$$n = \frac{v_t}{\pi \cdot D_n}$$

Coeficiente C_2	Velocidad de rotación
0.82	100
0.84	90
0.87	80
0.89	71
0.91	63
0.92	56
0.94	50
0.96	45
0.97	40
0.99	35.5
1	31.5

Tabla 49. Coeficiente C_2 en función del número de revoluciones

C_3: coeficiente que depende de la clase de mecanismo, el cual está determinado por el tipo de servicio, las condiciones de esfuerzos y el tiempo de operación máximo por día. Para el caso de estudio se tiene el M4.

Tiempo de operación diario [horas]			C_3
Grupo DIN	Desde	Incluido	
M3	-	16%	1.25
M4	16%	25%	1.12
M5	25%	40%	1
M6	40%	63%	0.9
M7	63%	-	0.8

Tabla 50. Coeficiente C_3 en función del tiempo de operación diario

Por último, se halla;

b: ancho efectivo del riel depende del riel empleado, [mm]

$$b = L - 2r$$

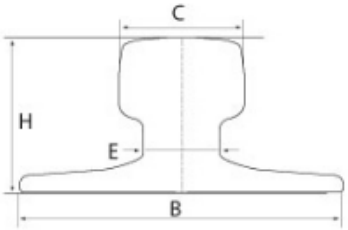
L: ancho total del riel, [mm]
r: radio extremo del riel, [mm]

Riel		r	b =L – 2r
STD	Símbolo	[mm]	[mm]
DIN 536 P1	A45	4	37
	A55	5	45
	A65	6	53
	A75	8	59
	A100	10	80
	A120	10	100

Tabla 51. Ancho efectivo del riel

Para utilización de la Tabla 51 es requisito indispensable conocer el tipo de riel sobre el que descansarán las ruedas de la viga testera. La siguiente tabla permite su selección.

Riel de Grúa - Norma alemana



Tipo de Rail	Normas	Dimensiones mm				Sección S	Masa M
		H	B	C	E	cm²	kg/m
A45	DIN 536 P1:1991	55,00	125,00	45,00	24,00	28,20	22,10
A55	DIN 536 P1:1991	65,00	150,00	55,00	31,00	40,50	31,80
A65	DIN 536 P1:1991	75,00	175,00	65,00	38,00	54,90	43,10
A75	DIN 536 P1:1991	85,00	200,00	75,00	45,00	71,60	56,20
A100	DIN 536 P1:1991	95,00	200,00	100,00	60,00	94,70	74,30
A120	DIN 536 P1:1991	105,00	220,00	120,00	72,00	127,40	100,00
A150	DIN 536 P1:1991	150,00	220,00	150,00	80,00	191,40	150,30

Tabla 52. Catálogo de rieles

Estos perfiles se fabrican de acuerdo con las Normas europeas y oscilan en resistencia a la tracción entre 690 y 1080 N/mm². El proveedor de los mismos es Acelor Mittal.

Las longitudes de carril para grúa estándar van de los 6 a los 24 metros, estando disponibles otras longitudes bajo demanda. Las clases de acero se producen de acuerdo con las especificaciones y calidades solicitadas por los clientes.

Tipos de carril grúa de norma alemana con referencia A45, A55, A65, A75, A100, A120 y A150 según la norma DIN 536 P1:1991.

En este caso se elige el raíl A55.

Por tanto, resolviendo:

$$D_n = 125\ [mm]$$

$$b = 45\ [mm]$$

$$c_3 = 1{,}12$$

$$v_t = 15\ [m/min]$$

$$n = \frac{15\ (m/min)}{\pi \cdot 0{,}125} = 38{,}197\ rpm$$

$$\frac{c_2 - 0{,}97}{38{,}197 - 40} = \frac{0{,}99 - 0{,}97}{35{,}5 - 40} \Rightarrow c_2 = 0{,}978$$

$$p_{lim} = 0{,}56\ [kg/mm^2]$$

$$G = 1150\ [kg]$$

$$R_{min} = \frac{G}{4} = \frac{1150}{4} = 287{,}5\ [kg]$$

$$R_{max} = R_a + \frac{G}{4} = 1040{,}11 + 287{,}5 = 1327{,}61\ [kg]$$

$$R_m \geq \frac{2 \cdot R_{max} + R_{min}}{2} = \frac{2 \cdot 1327{,}61 + 287{,}5}{2} = 1471{,}76\ [kg]$$

$$D_n = 125 \geq \frac{R_m}{p_{lim} \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot b} = \frac{1471{,}76}{0{,}56 \cdot 0{,}978 \cdot 1{,}12 \cdot 45} = 53{,}32 \longrightarrow CUMPLE$$

7.3 Selección de motor y reductor

La rueda que gira en un soporte y se mueve en dirección de un carril, cargada y montada sobre un eje, encuentra una resistencia a la rodadura que se compone de la resistencia a la rodadura y de los rozamientos sobre el eje.

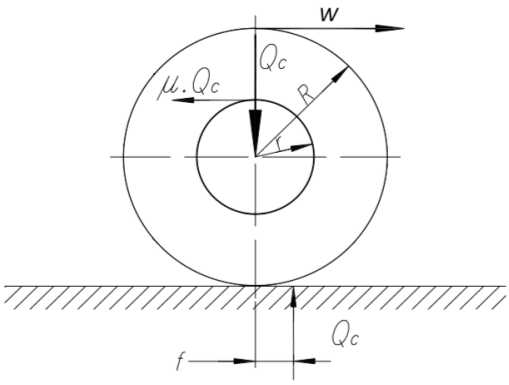


Ilustración 103. Esfuerzos sobre la rueda

A esta resistencia se añaden los rozamientos de la pestaña y de los cubos, ya que los aparatos de elevación tienen tendencia a avanzar oblicuamente, a cargar sobre las pestañas y las partes frontales de los cubos. Además, los carriles nunca están rigurosamente planos, su separación varia, el montaje de las ruedas tampoco es exacto y sus diámetros pueden presentar algunas diferencias. Todos estos factores tienen una influencia desfavorable sobre la resistencia a la rodadura, entonces:

$$W_R = \frac{4 \cdot Q_c}{D_n} \cdot \left(f' + \mu \cdot \frac{d}{2}\right) \cdot \omega$$

Donde:

W_R: resistencia a la rodadura para dos ruedas, [kg]
Q_c: carga máxima sobre la rueda, [kg]
D_n: diámetro de la rueda, [m]
f': brazo de la resistencia a la rodadura, según H. Ernst: f = 0.0005 [m]
μ: coeficiente de fricción del eje, según catalogo SKF: μ = 0.0018
d: diámetro del eje de la rueda, [m]
ω: coeficiente de mayoración, tiene en cuenta la resistencia en pestañas y cubos

Diámetro de la rueda [mm]	125	200	250	320	400	500
Diámetro del eje [mm]	45	55	60	70	80	90
ω	7.5	5.5	4.5	3.5	3.0	2.5

$$W_R = \frac{4 \cdot Q_c}{D_n} \cdot \left(f' + \mu \cdot \frac{d}{2}\right) \cdot \omega = \frac{4 \cdot 1327{,}61}{0{,}125} \cdot \left(0{,}0005 + 0{,}0018 \cdot \frac{0{,}045}{2}\right) \cdot 7{,}5 = 172{,}2\ kg$$

Para elegir correctamente el motor de accionamiento es necesario tener en cuenta el servicio intermitente, la carga relativa y la aceleración.

$$N_R = \frac{W_R \cdot v_t}{75 \cdot \eta}$$

Donde:

N_R: potencia de régimen, [CV]
W_R: resistencia a la rodadura, [kg]
v_t: velocidad de traslación, [m/s]

η: rendimiento del accionamiento

$$N_R = \frac{W_R \cdot v_t}{75 \cdot \eta} = \frac{172{,}2 \cdot 0{,}25}{75 \cdot 0{,}9} = 0{,}64\ CV$$

Para acelerar un carro en un tiempo t_a (s) hasta la velocidad de régimen, admitiendo un par de arranque constante, se debe suministrar una potencia de aceleración que alcanza su máximo en el fin del arranque:

$$N_A = \frac{(P+G)}{g} \cdot \frac{v_t^2}{75 \cdot t_a \cdot \eta} \cdot \beta$$

Donde:

N_A: potencia de aceleración, [CV]
P: carga máxima de la grúa, [kg]
G: peso del carro o del puente grúa, [kg]
g: aceleración de la gravedad, [m/s]
v_t: velocidad de traslación, [m/s]
t_a: tiempo de aceleración, [s]
η: rendimiento del accionamiento
β: coeficiente que tiene en cuenta las masas en rotación, según H. Ernst: β = 1.1 a 1.2

$$N_A = \frac{(P+G)}{g} \cdot \frac{v_t^2}{75 \cdot t_a \cdot \eta} \cdot \beta = \frac{(1000+1150)}{9{,}8} \cdot \frac{0{,}25^2}{75 \cdot 3{,}2 \cdot 0{,}9} \cdot 1{,}2 = 0{,}076\ CV$$

Verdaderamente, el par de arranque nunca es constante, pero puede considerarse como una curva en zigzag (Ilustración 104) cuyo valor medio se sitúa entre 1.7 a 2 veces el par normal. Como la potencia es proporcional al par se encuentra la potencia nominal necesaria:

$$\mathrm{N} = \frac{\mathrm{N_R} + \mathrm{N_A}}{1.7} = \frac{0{,}64 + 0.076}{1.7} = 0{,}42\ \mathrm{CV}$$

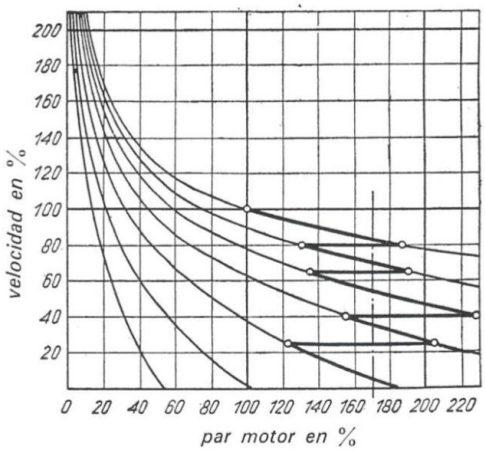


Ilustración 104. Arranque de un motor

Se va a suponer escoger un motor de 2100 rpm. Por tanto, n_1=2100 rpm. Se necesita descubrir n_2.

$$\mathrm{n_2} = \frac{\mathrm{v_t}}{\frac{\mathrm{D_n}}{2}} = \frac{0{,}25}{\frac{0{,}125}{2}} = 4\,\frac{\mathrm{rad}}{\mathrm{s}} = 38{,}19\ \mathrm{rpm}$$

Por tanto, el valor de la relación de transmisión será de:

$$i = \frac{n_2}{n_1} = \frac{2100}{38{,}19} = 54{,}98$$

Para obtener el momento de frenado necesario vamos a considerar que las masas actuantes deben frenar en un tiempo igual a 3,2 [s]:

$$M_{freno} = \frac{(P+G)}{g} \cdot \frac{v_t}{t_f} \cdot D_n \cdot \eta \cdot i$$

Donde:

M_{freno}: momento de frenado, [kgm]
P: carga máxima de la grúa, [Kg]
G: peso del carro o de la grúa, [Kg]
g: aceleración de la gravedad, [m/s²]
v_t: velocidad de traslación, [m/s]
t_f: tiempo de frenado o desaceleración, [s]
D_n: diámetro de la rueda, [m]
η: rendimiento del accionamiento
i: relación de transmisión del reductor

$$M_{freno} = \frac{(P+G)}{g} \cdot \frac{v_t}{t_f \cdot \eta} \cdot D_n \cdot \eta \cdot i = \frac{(1000+1150)}{9{,}8} \cdot \frac{0{,}25}{3{,}2} \cdot 0{,}125 \cdot 0{,}9 \cdot 55 = 106{,}05\ kgm$$

Por último, para la selección del reductor se tiene en cuenta momento necesario para accionar la rueda:

$$M_{red} = W_R \cdot \frac{D_n}{2} = 172{,}2 \cdot \frac{0{,}125}{2} = 10{,}76\ kgm$$

Variable	Valor	Unidades
Q_c	1327,61	kg
D_n	125	mm
f	0,0005	_
μ	0,0018	_
d	45	mm
ω	7,5	_
W_R	172,5	kg
V_t	0,25	m/s
η	0,9	_
N_R	0,64	CV
P	1000	kg
G	1150	kg
t_a	3,2	s
β	1,2	_
N_A	0,076	s
N	0,42	CV

N	0,313	kW
t_f	3,2	s
N_1	2100	rpm
N_2	38,19	rpm
i	55	_
M_{freno}	106,05	kgm
M_{freno}	1040	Nm
M_{red}	10,76	kgm
M_{red}	105,5	Nm

Tabla 53. Resultados de los cálculos del motorreductor de la viga testera

Según estas premisas se escoge un motorreductor que se adapte a ellas. Se selecciona uno de la marca NORD. Concretamente el modelo SK 1282 - 80T1/4, provisto de un tren de engranajes de ejes paralelos, que es lo más habitual en estas aplicaciones

Rated motor power
Rated motor speed
Output speed at rated motor speed
Minimum output speed at rated torque
Output torque
Service factor
Gear unit ratio
Permitted overhung force, output end
Permitted axial force, output end

P1	n1	n2 nom	n2 min	M2	fB	i	FR	FA	FR (VL)	FA (VL)	Gearmotor
[kW]	[rpm]	[rpm]	[rpm]	[Nm]			[N]	[N]	[N]	[N]	
1.1	2100	29	4.2	361	0.8	72.17	3617	7150	8446	7200	SK 1282 - 80T1/4
		36	5.1	295	1.0	58.89	3632	7150	8869	7200	
		43	6.1	246	1.1	49.25	3616	7150	9114	7200	
		51	7.3	205	1.1	41.07	3539	7150	9284	7200	
		65	9.4	160	1.4	32.08	3526	7150	9431	7200	
		74	11	142	1.6	28.33	3465	7150	9481	7200	
		83	12	126	1.8	25.22	3401	7132	9518	7200	
		102	15	103	2.2	20.57	3267	6820	9565	7200	
		122	17	86.1	2.6	17.21	3145	6543	9593	7200	
		149	21	70.5	3.0	14.11	3011	6243	9615	7200	

Tabla 54. Datos técnicos motorreductores NORD

El desplazamiento del eje paralelo para engranajes paralelos produce un diseño más corto en comparación con los engranajes helicoidales. Esta versión permite al reductor montarse directamente en el eje de accionamiento de la máquina.

El SK 1282 es de dos etapas con carcasa de hierro fundido con una superficie extremadamente lisa en la que se ha utilizado el principio de la caja de bloque NORD. Esto significa que la solidez se incorpora desde el principio. Como estándar, las carcasas tienen un soporte de par de fundición, una brida B14 en el lado de salida y superficies de pie maquinadas con orificios roscados de fijación.

Axis height: 80. 90. 100			
	T=2100 rpm in star connection. 3000 rpm in delta connection		
		Package length: 1..9 The code depends on the length and axis height	
			Number of poles
80	T	1	/4

Size	M_N [Nm]	P_N [W]	n_N [rpm]	I [A]	η	J [kgm²]	J [kg]	M_{max} [Nm]	K_T [Nm/A]	K_E [mV/rpm]
80T1/4	5.0	1.1	2100	2.03	90.5	0.0011	8.0	14.4	2.50	154.00
80T1/4 Δ	4.8	1.5	3000	3.44	90.4	0.0011	8.0	14.4	1.40	89.00

Tabla 55. Datos técnicos motor NORD para viga testera

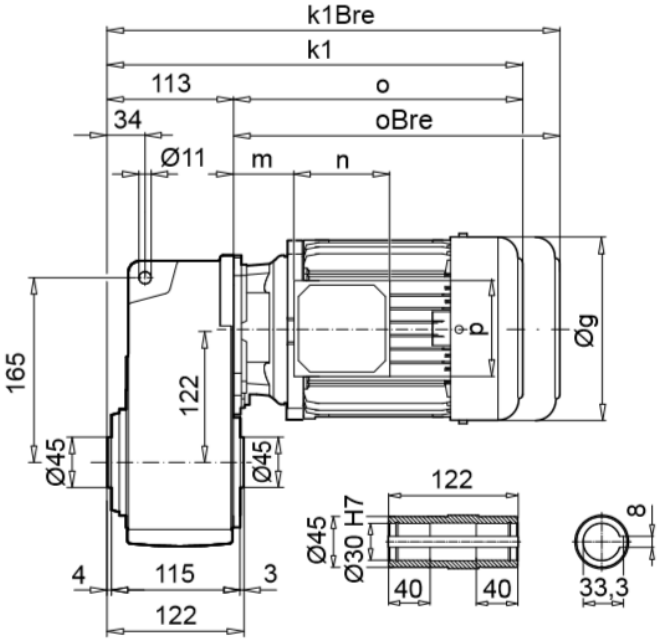


Ilustración 105. Dimensiones motorreductor viga testera

Este motor NORD IE4 es síncrono con imanes permanentes en el paquete del rotor. No se pueden iniciar ni operar directamente en línea, sino que solo se pueden operar con un convertidor de frecuencia. Como motores síncronos, los motores IE4 no tienen ningún deslizamiento dependiente de la carga.

Está diseñado para dos velocidades nominales diferentes:

1. 2100 rpm a 70Hz (400V STAR, 230V DELTA)
2. 3000 rpm a 100Hz (400V DELTA)

El motor está conectado en un circuito delta y operado teóricamente a 70Hz x 1.71 = 121Hz (similar a la característica de 87Hz para motores de 50Hz). Sin embargo. como la operación de 121Hz genera un alto nivel de ruido, el punto de operación se especifica como 100Hz, 400V DELTA.

8 Diseño de la estructura

En este apartado se estudia el diseño de las vigas y pilares que conforman la estructura que soporta el puente grúa. Se calculan las soldaduras entre las barras, además de las zapatas que fijarán la estructura a la solera de la nave. Los cálculos se realizan a partir de las cargas extraídas para diseñar la viga principal, con la diferencia de que en este caso se emplean única y exclusivamente los documentos del CTE. Se emplea CYPE durante todo el diseño, a excepción de algunas comprobaciones realizadas a mano.

Las normas aplicables son:

- Cimentación: EHE-98-CTE.
- Aceros laminados y armados: CTE DB SE-A.
- Categoría de uso: C. Zonas de acceso al público.

8.1 Vigas carrileras y pilares

8.1.1 Descripción

El puente grúa abarca una distancia de 14 metros de largo por 6,5 de ancho. Por lo tanto, la estructura debe permitirle operar en todo este espacio. Como a lo largo de todo el proyecto, se busca simplificar al máximo todos los elementos. En este sentido, la estructura estará compuesta por dos pórticos independientes entre sí. Cada pórtico constará de dos pilares exteriores y uno central, y dos dinteles o vigas carrileras (elementos en los que se apoya la viga principal del puente grúa).

Los dinteles se encuentran a una distancia de 5 metros sobre el suelo y la separación entre los dos pórticos es de 6,5 metros.

Todas las barras estarán constituidas de acero laminado (S 275). Los pilares serán de perfil HE B, mientras que las vigas o dinteles serán perfil IPE.

Continuando con la misma dinámica, en la estructura también se pretende simplificar y estandarizar resultados. Los 6 pilares serán del mismo perfil, a pesar de que los laterales estén menos expuestos a cargas que los centrales. Lo mismo ocurre con las cuatro vigas o dinteles, los 6 empotramientos a suelo (las zapatas serán las 6 las mismas) y las soldaduras entre barras. CYPE permite agrupar barras o nudos para que todos los componentes de esa agrupación se diseñen en función del que se encuentra más solicitado.

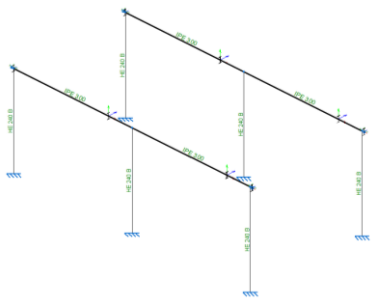


Ilustración 106. Disposición de la estructura

8.1.2 Condiciones de contorno

8.1.2.1 Nudos

Los nudos han sido designados como articulados entre los pilares y las vigas carrileras.
Los nudos entre los pilares y la base o suelo son empotramientos.

8.1.2.2 Flecha

A las 4 vigas se les impone un límite de flecha.

La flecha máxima relativa sobre el eje xz de la viga será de L/1000. Es lo que se corresponde con el movimiento vertical.

La flecha máxima absoluta sobre el eje xy de la barra no podrá sobrepasar los 2 mm. Es lo que corresponde con el doblamiento que puede sufrir la viga y que afectará al funcionamiento de las ruedas sobre los raíles.

A los pilares no se les impone ninguna restricción de flecha.

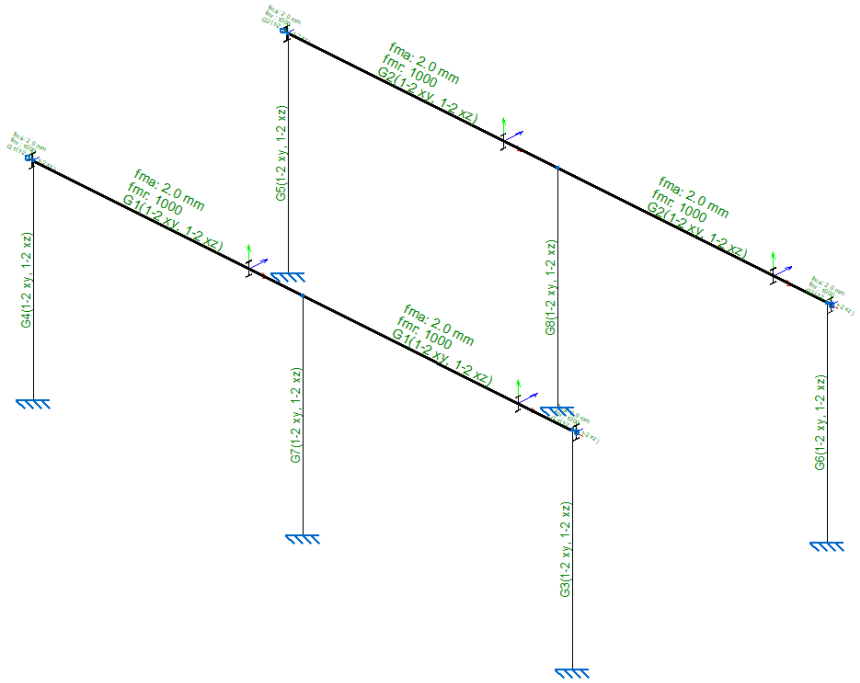


Ilustración 107. Restricciones de flecha

8.1.2.3 Pandeo

Sobre las vigas también se estudia el pandeo sobre los ejes xy de la barra. La restricción de flecha límite podría ser suficiente, pero aun así se implementa esta otra restricción. El coeficiente de pandeo será; beta = 0,5 (extremos empotrados).

Sobre los pilares se estudia el pandeo sobre los dos posibles ejes de los mismos. El plano xy y el plano xz. El coeficiente de pandeo será beta = 2 (barra en voladizo; base empotrada y un extremo libre).

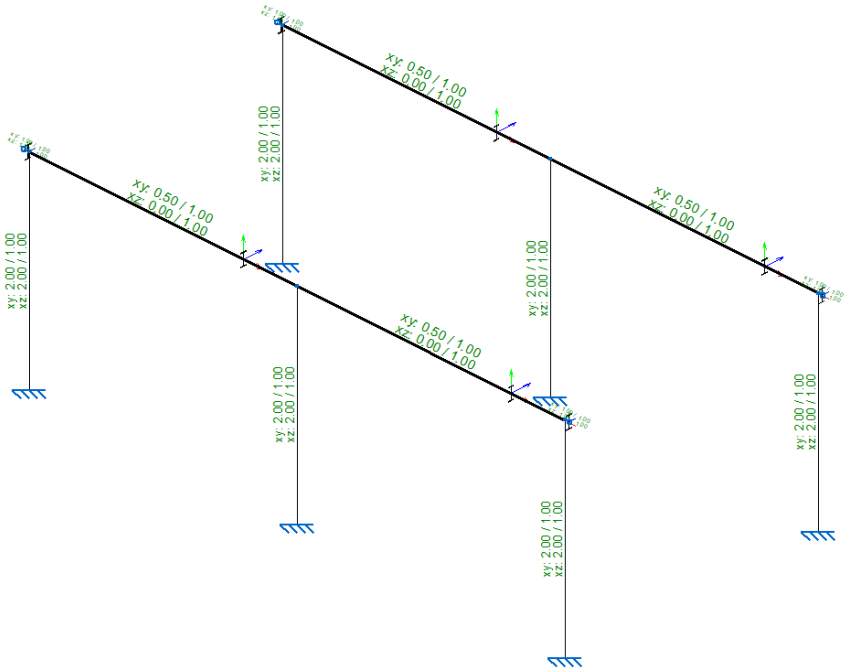


Ilustración 108. Restricciones de pandeo

8.1.3 Cargas

Para empezar, no se han distribuido las cargas sobre la totalidad de la estructura, sino que se ha aislado "una cuarta parte" o lo que es lo mismo, medio pórtico (un pilar central, un pilar lateral y un dintel), ya que engloba todos los elementos de la estructura y de esta forma no es necesario implementar un número tan elevado de cargas y consecuentemente de hipótesis.

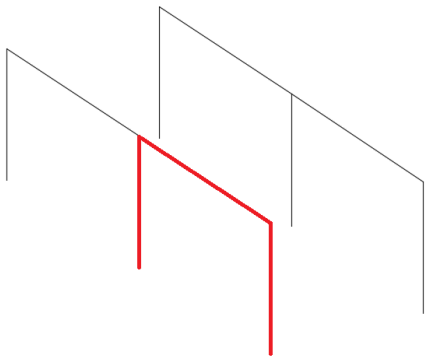


Ilustración 109. Simplificación de estructura

En función de donde está situado el carro-polipasto, se transmite más carga a un pórtico u otro. Este caso de estudio se ha simplificado suponiendo que toda la carga recae sobre el pórtico de estudio, a excepción del peso propio de la viga principal, que representa la mitad para cada pórtico. El peso propio de la viga principal es de 4 kN, por lo que inciden sobre el pórtico 2 kN. También se ha eliminado la carga del viento.

Más adelante se expone como se han distribuido las cargas en la estructura, así como las hipótesis generadas, pero previamente se explica cómo se distribuyen los coeficientes en las combinaciones de acciones según las distintas situaciones de proyecto.

Se siguen las siguientes ecuaciones:

- Con coeficientes de combinación

$$\sum_{j\geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i>1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

- Sin coeficientes de combinación

$$\sum_{j\geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i\geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Donde:

G_k Acción permanente

P_k Acción de pretensado

Q_k Acción variable

γ_G Coeficiente parcial de seguridad de las acciones permanentes

γ_P Coeficiente parcial de seguridad de la acción de pretensado

$\gamma_{Q,1}$ Coeficiente parcial de seguridad de la acción variable principal

$\gamma_{Q,i}$ Coeficiente parcial de seguridad de las acciones variables de acompañamiento

$\psi_{p,1}$ Coeficiente de combinación de la acción variable principal

$\psi_{a,i}$ Coeficiente de combinación de las acciones variables de acompañamiento

Para cada situación de proyecto y estado límite los coeficientes a utilizar son diferentes. En el caso de los coeficientes del hormigón, se especifica en el apartado 8.2.1. Para el acero, que es lo que ahora acontece, también se distingue entre los coeficientes para el cálculo de los E.L.U. y el de los E.L.S. o desplazamientos.

8.1.3.1 E.L.U. de rotura. Acero laminado: CTE DB SE-A

Para el cálculo de la resistencia del acero laminado el CTE ofrece las dos siguientes tablas de valores de coeficientes.
Las cargas permanentes, que serán las del pórtico y la de la viga principal (peso propio en ambos casos), estarán multiplicadas por 1,35 en caso de que sean desfavorables para la situación, y por 0,8 en caso de que sean favorables para la estructura.
El resto de las cargas, se han implementado todas como variables. Esto quiere decir que estarán multiplicadas por 1,5 en caso de que sean desfavorables y por 0 en caso de que sean favorables.

Tipo de verificación (1)	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
		desestabilizadora	**estabilizadora**
Estabilidad	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

(1) Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Tabla 56. Coeficientes parciales de seguridad para las acciones

Sin embargo, solo una carga variable se multiplica por 1,5 en la misma hipótesis. La segunda y posteriores irán multiplicadas por un segundo coeficiente (coeficiente de simultaneidad) según indicaba la fórmula inicial. Este coeficiente los especifica la Tabla 57, en la casilla de Zonas destinadas al público, como se ha mencionado anteriormente.

	Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
•Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
•Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
•Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
•Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
•Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría F)	0,7	0,7	0,6
•Cubiertas transitables (Categoría G)		(1)	
•Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría H)	0	0	0
Nieve			
•para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
•para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

(1) En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Tabla 57. Coeficientes de simultaneidad

Las siguientes tablas resumen lo expuesto en párrafos anteriores.

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	0.800	1.350	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.500	1.000	0.700

Tabla 58. Coeficientes de seguridad y combinación para acero laminado (ELU)

8.1.3.2 Desplazamientos

En cuanto a los desplazamientos, a la carga permanente le precede en todo momento un coeficiente de seguridad de valor 1. En caso de las acciones variables o sobrecargas, este valor pasa a ser nulo en caso de situación favorable.

Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

Tabla 59. Coeficientes de seguridad (ELS)

8.1.3.3 Distribución de las cargas e hipótesis.

Se remarca que sobre la porción de estudio únicamente actúan los pesos propios de las vigas (carga permanente) y los pesos muertos, cargas dinámicas y de elevación, todos ellos descritos como sobrecargas de uso (carga variable). Son todas cargas puntuales, excepto el peso propio de la estructura expedido por el programa, que es distribuida. Se detallan a continuación.

Como el puente grúa se mueve a través de todo el dintel, ocupa infinitos espacios. Con el fin de reducir el número de hipótesis, se ha reducido a tres posibles situaciones.

- Caso (1): Cargas puntuales en el extremo del dintel donde se encuentra el pilar central.
- Caso (2): Cargas puntuales en el centro del dintel.
- Caso (3): Cargas puntuales en el extremo del dintel donde se encuentra el pilar lateral.

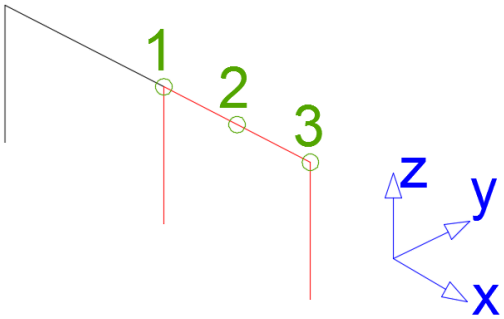


Ilustración 110. Puntos donde actúan las solicitaciones

Cuando se produzcan solicitaciones en un punto, sólo actuarán cargas en ese punto, siendo imposible la actuación de cargas en dos puntos simultáneamente.

La siguiente tabla recoge las cargas implementadas con sus valores. Las cargas dinámicas (HP y EC) y la de elevación de la carga son incompatibles entre sí, es decir, que si actúa una es imposible que actúen las otras.

En cuanto a las dinámicas, estas no son fruto de la fuerza de la gravedad. La carga dinámica en la viga principal actúa sobre el eje x, mientras que la del carro lo hace sobre el eje y. A diferencia del resto de cargas, estas poseen dos valores por cada caso (uno negativo y otro positivo), incompatibles entre sí, y que reflejan los dos sentidos a los que puede afectar la solicitación..

Carga	Descripción	Valor	Dirección	Actúa en	Tipo
PP	Peso propio	_	-Z	_	G
PC (1)	peso de la carga	17.5 kN	-Z	Nudo	Q
PC (2)	peso de la carga	17.5 kN	-Z	Barra	Q
PC (3)	peso de la carga	17.5 kN	-Z	Nudo	Q
PVP (1)	peso viga principal	2 kN	-Z	Nudo	G
PVP (2)	peso viga principal	2 kN	-Z	Barra	G
PVP (3)	peso viga principal	2 kN	-Z	Nudo	G
EC (1)	elevación de la carga	0,75 kN	-Z	Nudo	Q
EC (2)	elevación de la carga	0,75 kN	-Z	Barra	Q
EC (3)	elevación de la carga	0,75 kN	-Z	Nudo	Q
HP (1a)	carga dinamica de la viga principal	0,234 kN	-X	Nudo	Q
HP (1b)	carga dinamica de la viga principal	0,234 kN	X	Nudo	Q
HP (2a)	carga dinamica de la viga principal	0,234 kN	-X	Barra	Q
HP (2b)	carga dinamica de la viga principal	0,234 kN	X	Barra	Q
HP (3a)	carga dinamica de la viga principal	0,234 kN	-X	Nudo	Q
HP (3b)	carga dinamica de la viga principal	0,234 kN	X	Nudo	Q
HC (1a)	carga dinamica del carro	0,335 kN	Y	Nudo	Q
HC (1b)	carga dinamica del carro	0,335 kN	-Y	Nudo	Q

HC (2a)	carga dinamica del carro	0,335 kN	Y	Barra	Q
HC (2b)	carga dinamica del carro	0,335 kN	-Y	Barra	Q
HC (3a)	carga dinamica del carro	0,335 kN	Y	Nudo	Q
HC (3b)	carga dinamica del carro	0,335 kN	-Y	Nudo	Q

Tabla 60. Descripción de las cargas en la estructura

8.1.4 Comprobaciones CYPE

El programa de cálculo de estructuras resuelve las hipótesis optimizando los perfiles. De este modo se obtienen los más ligeros que cumplan las restricciones implementadas, así como la resistencia última:

- Pilares: HE 240 B.

- Dinteles: IPE 300.

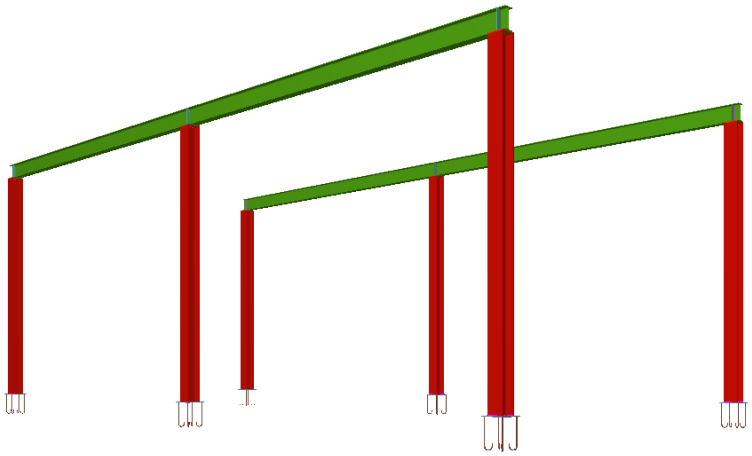


Ilustración 111. Estructura en 3D

8.1.4.1 Viga IPE 300

Como en el caso de la viga principal, este perfil da buenos resultados frente a resistencia (26,83 % de aprovechamiento). Es la flecha la que provoca estas dimensiones de perfil (86,6 % de aprovechamiento).

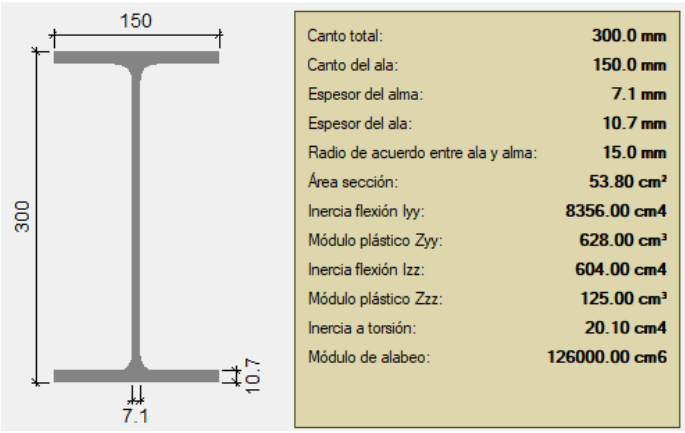
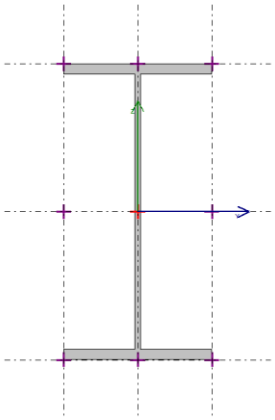


Ilustración 112. Dimensiones y características perfil IPE 300

Barra N14 / N6
Perfil: IPE 300
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Ángulo de giro (grados)	Peso teórico (kp)
Inicial	Final			
N14	N6	6.875	0.000	290.35

Pandeo

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano xy	Plano xz	Ala sup.	Ala inf.
β (1)	0.50	0.00	0.00	0.00
L_K (2)	3.438	0.000	0.000	0.000
C_m (3)	1.000	1.000	1.000	1.000

Notación:
(1) Coeficiente de pandeo
(2) Longitud de pandeo (m)
(3) Coeficiente de momentos

Grupo de flecha: G1

	Tipo	Límites de flecha			
		fma(1)	fmr(2)	faa(3)	far(4)
Plano xy	Secante	2.0 mm	-	-	-
Plano xz	Secante	-	1000	-	-

Notación:
(1) Flecha máxima absoluta
(2) Flecha máxima relativa
(3) Flecha activa absoluta
(4) Flecha activa relativa

Coeficientes de empotramiento

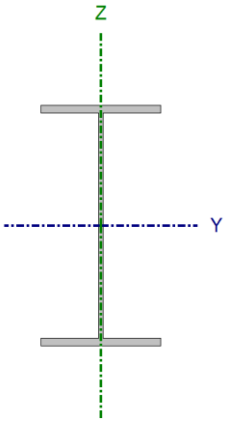
	Origen	Extremo
Plano xy	1.000	1.000
Plano xz	1.000	1.000

Comprobación

Temperatura ambiente	Situación de incendio
✓ Aprov. de resistencia: 26.83 % ✓ Aprov. de flecha: 86.16 %	⚠ Se ha seleccionado no realizar la comprobación de resistencia al fuego

Tabla 61. Datos perfil IPE 300

Perfil: IPE 300
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N14	N6	6.875	53.80	8356.00	604.00	20.10

Notas:
(1) *Inercia respecto al eje indicado*
(2) *Momento de inercia a torsión uniforme*

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	0.50	0.00	0.00	0.00
L_K	3.438	0.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Tabla 62. Resumen perfil IPE 300

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N14/N6	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	η < 0.1	η < 0.1	x: 3.438 m η = 25.6	x: 3.438 m η = 2.2	x: 0 m η = 5.0	x: 0 m η = 0.1	η < 0.1	x: 0 m η < 0.1	x: 3.438 m η = 26.8	η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	N.P.(2)	N.P.(2)	**CUMPLE η = 26.8**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) *La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.*
(2) *No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.*

Tabla 63. Comprobaciones perfil IPE 300

La Tabla 63 muestra un resumen de los resultados de las comprobaciones realizadas con apoyo del documento CTE DB SE-A.

Las comprobaciones se desarrollan en detalle en las siguientes páginas.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.18*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *53.80* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. **N_{cr}** : *1059.43* kN

El axil crítico de pandeo elástico **N_{cr}** es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *1059.43* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. **I_y** : *8356.00* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. **I_z** : *604.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. **I_t** : *20.10* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. **I_w** : *126000.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. **L_{ky}** : *0.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. **L_{kz}** : *3.438* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. **L_{kt}** : *0.000* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. **i_0** : *12.91* cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. **i_y** : *12.46* cm; **i_z** : *3.35* cm

y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. **y_0** : *0.00* mm; **z_0** : *0.00* mm

<u>Abolladura del alma inducida por el ala comprimida</u> (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

39.24 ≤ 254.33 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.	**h_w** :	*278.60*	mm
t_w: Espesor del alma.	**t_w** :	*7.10*	mm
A_w: Área del alma.	**A_w** :	*19.78*	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	**$A_{fc,ef}$** :	*16.05*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	**f_{yf}** :	*275.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

Se debe satisfacer:

$\eta <$ ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HP(3).

$N_{t,Ed}$: Axil de tracción solicitante de cálculo pésimo. **$N_{t,Ed}$** : *0.23* kN

La resistencia de cálculo a tracción **$N_{t,Rd}$** viene dada por:

$N_{t,Rd}$: *1409.05* kN

Donde:

A: Área bruta de la sección transversal de la barra.	**A** :	*53.80*	cm²
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.	**f_{yd}** :	*261.90*	MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	**f_y** :	*275.00*	MPa
γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	**γ_{M0}** :	*1.05*	

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

$\eta <$ ***0.001*** ✓

$\eta <$ ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HP(4).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *0.23* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *1409.05* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *2*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *53.80* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo **$N_{b,Rd}$** en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *687.80* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *53.80* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M1}** : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_z : *0.49*

Siendo:

ϕ_z : *1.37*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_z : *0.34*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_z$: *1.18*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: **N_{cr}** : *1059.43* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. **$N_{cr,y}$** : ∞

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. **$N_{cr,z}$** : *1059.43* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. **$N_{cr,T}$** : ∞

<u>Resistencia a flexión eje Y</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.256*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.438 m del nudo N14, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PC(2)+1.5·PVP(2)+1.5·EC(2).

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *42.08* kN·m

Para flexión negativa:

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *0.00* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *164.48* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,y}$** : *628.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

<u>Resistencia a flexión eje Z</u> (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.022*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.438 m del nudo N14, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HC(4).

M_{Ed}^+: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^+** : *0.72* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en un punto situado a una distancia de 3.438 m del nudo N14, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HC(3).

M_{Ed}^-: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. **M_{Ed}^-** : *0.72* kN·m

El momento flector resistente de cálculo **$M_{c,Rd}$** viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *32.74* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,z}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. **$W_{pl,z}$** : *125.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.050*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N14, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PC(2)+1.5·PVP(2)+1.5·EC(2).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *19.52* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *388.15* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. **A_v** : *25.67* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *300.00* mm

t_w: Espesor del alma. **t_w** : *7.10* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. **f_{yd}** : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

35.01 < **64.71** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. **λ_w** : *35.01*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. **$\lambda_{máx}$** : *64.71*

ε: Factor de reducción. **ε** : *0.92*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. **f_{ref}** : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) **f_y** : *275.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N14, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HC(3).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. **V_{Ed}** : *0.29* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$** viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *514.41* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *34.02* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. A : *53.80* cm²

d: Altura del alma. d : *278.60* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *7.10* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *275.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

19.52 kN ≤ 194.08 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PC(2)+1.5·PVP(2)+1.5·EC(2).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *19.52* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *388.15* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $V_{c,Rd}$.

0.29 kN ≤ 257.21 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N14, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HC(3).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.29* kN

$V_{c,Rd}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd}$: *514.41* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.268*** ✓

η : ***0.259*** ✓

η : ***0.170*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en un punto situado a una distancia de 3.438 m del nudo N14, para la combinación de acciones
1.35·PP+1.5·PC(2)+1.5·PVP(2)+1.5·HC(3).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. — $N_{c,Ed}$: *0.00* kN

$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{y,Ed}^{+}$: *40.51* kN·m; $M_{z,Ed}^{-}$: *0.72* kN·m

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple. — **Clase** : *1*

$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta. — $N_{pl,Rd}$: *1409.05* kN

$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente. — $M_{pl,Rd,y}$: *164.48* kN·m; $M_{pl,Rd,z}$: *32.74* kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta. — **A** : *53.80* cm²

$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente. — $W_{pl,y}$: *628.00* cm³; $W_{pl,z}$: *125.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. — f_{yd} : *261.90* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) — f_y : *275.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. — γ_{M1} : *1.05*

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

k_y : *1.00*

k_z : *1.00*

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.

$C_{m,y}$: *1.00*
$C_{m,z}$: *1.00*

χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.

χ_y : *1.00*
χ_z : *0.49*

$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.

$\bar{\lambda}_y$: *0.00*
$\bar{\lambda}_z$: *1.18*

α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.

α_y : *0.60*
α_z : *0.60*

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo V_{Ed} es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PC(2)+1.5·PVP(2)+1.5·HP(1).

18.85 kN ≤ 194.08 kN ✓

Donde:

$V_{Ed,z}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $V_{Ed,z}$: *18.85* kN

$V_{c,Rd,z}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $V_{c,Rd,z}$: *388.15* kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

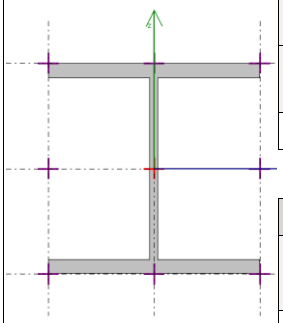
Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

8.1.4.2 Pilar HE 240 B

Las dimensiones de este pilar vienen marcadas principalmente por las restricciones de pandeo. A resistencia, por ejemplo, se obtiene un aprovechamiento del 7%.

Barra N13 / N14
Perfil: HE 240 B
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)			Ángulo de giro (grados)	Peso teórico (kp)
Inicial	Final	Indeformable origen	Deformable	Indeformable extremo		
N13	N14	-	4.850	0.150	0.000	416.05

Pandeo

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano xy	Plano xz	Ala sup.	Ala inf.
β (1)	2.00	2.00	0.00	0.00
L_K (2)	10.000	10.000	0.000	0.000
C_m (3)	1.000	1.000	1.000	1.000

Notación:
(1) Coeficiente de pandeo
(2) Longitud de pandeo (m)
(3) Coeficiente de momentos

Grupo de flecha: G7

	Tipo	Límites de flecha			
		fma(1)	fmr(2)	faa(3)	far(4)
Plano xy	Secante	-	-	-	-
Plano xz	Secante	-	-	-	-

Notación:
(1) Flecha máxima absoluta
(2) Flecha máxima relativa
(3) Flecha activa absoluta
(4) Flecha activa relativa

Coeficientes de empotramiento

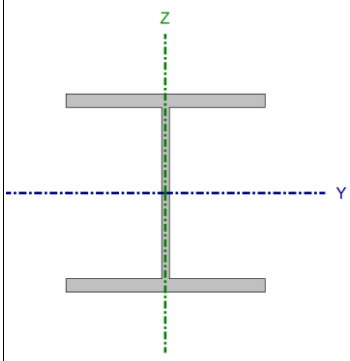
	Origen	Extremo
Plano xy	1.000	1.000
Plano xz	1.000	1.000

Comprobación

Temperatura ambiente	Situación de incendio
✓ Aprov. de resistencia: 6.95 % ℹ Aprov. de flecha: No se han definido límites	⚠ Se ha seleccionado no realizar la comprobación de resistencia al fuego

Tabla 64. Datos perfil HE 240 B

Perfil: HE 240 B
Material: Acero (S275)



Nudos		Longitud (m)	Características mecánicas			
Inicial	Final		Área (cm²)	I_y(1) (cm4)	I_z(1) (cm4)	I_t(2) (cm4)
N13	N14	5.000	106.00	11260.00	3923.00	102.70

Notas:
(1) Inercia respecto al eje indicado
(2) Momento de inercia a torsión uniforme

	Pandeo		Pandeo lateral	
	Plano XY	Plano XZ	Ala sup.	Ala inf.
β	2.00	2.00	0.00	0.00
L_K	10.000	10.000	0.000	0.000
C_m	1.000	1.000	1.000	1.000
C_1	-		1.000	

Notación:
β: Coeficiente de pandeo
L_K: Longitud de pandeo (m)
C_m: Coeficiente de momentos
C_1: Factor de modificación para el momento crítico

Tabla 65. Resumen perfil HE 240 B

Barra	COMPROBACIONES (CTE DB SE-A)															Estado
	$\bar{\lambda}$	λ_w	N_t	N_c	M_Y	M_Z	V_Z	V_Y	M_YV_Z	M_ZV_Y	NM_YM_Z	$NM_YM_ZV_YV_Z$	M_t	M_tV_Z	M_tV_Y	
N13/N14	$\bar{\lambda}$ < 2.0 Cumple	$\lambda_w \leq \lambda_{w,máx}$ Cumple	N_{Ed} = 0.00 N.P.(1)	x: 0 m η = 6.6	x: 0 m η = 0.9	x: 0 m η = 0.5	η = 0.1	η < 0.1	η < 0.1	η < 0.1	x: 0 m η = 7.0	η < 0.1	M_{Ed} = 0.00 N.P.(2)	N.P.(3)	N.P.(3)	**CUMPLE η = 7.0**

Notación:
$\bar{\lambda}$: Limitación de esbeltez
λ_w: Abolladura del alma inducida por el ala comprimida
N_t: Resistencia a tracción
N_c: Resistencia a compresión
M_Y: Resistencia a flexión eje Y
M_Z: Resistencia a flexión eje Z
V_Z: Resistencia a corte Z
V_Y: Resistencia a corte Y
M_YV_Z: Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados
M_ZV_Y: Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados
NM_YM_Z: Resistencia a flexión y axil combinados
$NM_YM_ZV_YV_Z$: Resistencia a flexión, axil y cortante combinados
M_t: Resistencia a torsión
M_tV_Z: Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados
M_tV_Y: Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados
x: Distancia al origen de la barra
η: Coeficiente de aprovechamiento (%)
N.P.: No procede

Comprobaciones que no proceden (N.P.):
(1) La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.
(2) La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.
(3) No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

Tabla 66. Comprobaciones perfil HE 240 B

La Tabla 66 muestra un resumen de los resultados de las comprobaciones realizadas con apoyo del documento CTE DB SE-A.

Las comprobaciones se desarrollan en detalle en las siguientes páginas.

Limitación de esbeltez (CTE DB SE-A, Artículos 6.3.1 y 6.3.2.1 - Tabla 6.3)

La esbeltez reducida $\bar{\lambda}$ de las barras comprimidas debe ser inferior al valor 2.0.

$\bar{\lambda}$: ***1.86*** ✓

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección. **Clase** : *1*

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *106.00* cm²

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

N_{cr}: Axil crítico de pandeo elástico. N_{cr} : *813.09* kN

El axil crítico de pandeo elástico N_{cr} es el menor de los valores obtenidos en a), b) y c):

a) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: *2333.77* kN

b) Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *813.09* kN

c) Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: ∞

Donde:

I_y: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Y. I_y : *11260.00* cm4

I_z: Momento de inercia de la sección bruta, respecto al eje Z. I_z : *3923.00* cm4

I_t: Momento de inercia a torsión uniforme. I_t : *102.70* cm4

I_w: Constante de alabeo de la sección. I_w : *486900.00* cm6

E: Módulo de elasticidad. **E** : *210000* MPa

G: Módulo de elasticidad transversal. **G** : *81000* MPa

L_{ky}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Y. L_{ky} : *10.000* m

L_{kz}: Longitud efectiva de pandeo por flexión, respecto al eje Z. L_{kz} : *10.000* m

L_{kt}: Longitud efectiva de pandeo por torsión. L_{kt} : *0.000* m

i_0: Radio de giro polar de la sección bruta, respecto al centro de torsión. i_0 : *11.97* cm

Siendo:

i_y , i_z: Radios de giro de la sección bruta, respecto a los ejes principales de inercia Y y Z. i_y : *10.31* cm

i_z : *6.08* cm

y_0 , z_0: Coordenadas del centro de torsión en la dirección de los ejes principales Y y Z, respectivamente, relativas al centro de gravedad de la sección. y_0 : *0.00* mm

z_0 : *0.00* mm

Abolladura del alma inducida por el ala comprimida (Criterio de CYPE Ingenieros, basado en: Eurocódigo 3 EN 1993-1-5: 2006, Artículo 8)

Se debe satisfacer:

20.60 ≤ 168.93 ✓

Donde:

h_w: Altura del alma.	**h_w** :	*206.00*	mm
t_w: Espesor del alma.	**t_w** :	*10.00*	mm
A_w: Área del alma.	**A_w** :	*20.60*	cm²
$A_{fc,ef}$: Área reducida del ala comprimida.	**$A_{fc,ef}$** :	*40.80*	cm²
k: Coeficiente que depende de la clase de la sección.	**k** :	*0.30*	
E: Módulo de elasticidad.	**E** :	*210000*	MPa
f_{yf}: Límite elástico del acero del ala comprimida.	**f_{yf}** :	*265.00*	MPa

Siendo:

Resistencia a tracción (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.3)

La comprobación no procede, ya que no hay axil de tracción.

Resistencia a compresión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.5)

Se debe satisfacer:

η : ***0.015*** ✓

η : ***0.066*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PC(1)+1.5·PVP(1)+1.5·EC(1).

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo. **$N_{c,Ed}$** : *39.16* kN

La resistencia de cálculo a compresión **$N_{c,Rd}$** viene dada por:

$N_{c,Rd}$: *2675.24* kN

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos comprimidos de una sección.	**Clase** :	*1*	
A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3.	**A** :	*106.00*	cm²
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.	**f_{yd}** :	*252.38*	MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.2)

La resistencia de cálculo a pandeo $N_{b,Rd}$ en una barra comprimida viene dada por:

$N_{b,Rd}$: *594.53* kN

Donde:

A: Área de la sección bruta para las secciones de clase 1, 2 y 3. **A** : *106.00* cm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M1} : *1.05*

χ: Coeficiente de reducción por pandeo.

χ_y : *0.54*

χ_z : *0.22*

Siendo:

ϕ_y : *1.25*

ϕ_z : *2.63*

α: Coeficiente de imperfección elástica. α_y : *0.34*

α_z : *0.49*

$\bar{\lambda}$: Esbeltez reducida.

$\bar{\lambda}_y$: *1.10*

$\bar{\lambda}_z$: *1.86*

N_{cr}: Axil crítico elástico de pandeo, obtenido como el menor de los siguientes valores: N_{cr} : *813.09* kN

$N_{cr,y}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Y. $N_{cr,y}$: *2333.77* kN

$N_{cr,z}$: Axil crítico elástico de pandeo por flexión respecto al eje Z. $N_{cr,z}$: *813.09* kN

$N_{cr,T}$: Axil crítico elástico de pandeo por torsión. $N_{cr,T}$: ∞

Resistencia a flexión eje Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.009*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HC(1).

M_{Ed}^{+}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^{+} : *2.41* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HC(2).

M_{Ed}^{-}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^{-} : *2.41* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *265.76* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$W_{pl,y}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $W_{pl,y}$: *1053.00* cm³

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a pandeo lateral: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.2)

No procede, dado que las longitudes de pandeo lateral son nulas.

Resistencia a flexión eje Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.6)

Se debe satisfacer:

η : ***0.005*** ✓

Para flexión positiva:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HP(2).

M_{Ed}^{+}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^{+} : *0.59* kN·m

Para flexión negativa:

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce en el nudo N13, para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HP(1).

M_{Ed}^{-}: Momento flector solicitante de cálculo pésimo. M_{Ed}^{-} : *0.59* kN·m

El momento flector resistente de cálculo $M_{c,Rd}$ viene dado por:

$M_{c,Rd}$: *125.79* kN·m

Donde:

Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de los elementos planos de una sección a flexión simple. **Clase** : *1*

$\mathbf{W_{pl,z}}$: Módulo resistente plástico correspondiente a la fibra con mayor tensión, para las secciones de clase 1 y 2. $\mathbf{W_{pl,z}}$: *498.40* cm³

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a corte Z (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

η : ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HC(1).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.48* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $\mathbf{V_{c,Rd}}$ viene dado por:

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: *484.35* kN

Donde:

$\mathbf{A_v}$: Área transversal a cortante. $\mathbf{A_v}$: *33.24* cm²

Siendo:

h: Canto de la sección. **h** : *240.00* mm

$\mathbf{t_w}$: Espesor del alma. $\mathbf{t_w}$: *10.00* mm

$\mathbf{f_{yd}}$: Resistencia de cálculo del acero. $\mathbf{f_{yd}}$: *252.38* MPa

Siendo:

$\mathbf{f_y}$: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) $\mathbf{f_y}$: *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Abolladura por cortante del alma: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.3.4)

Aunque no se han dispuesto rigidizadores transversales, no es necesario comprobar la resistencia a la abolladura del alma, puesto que se cumple:

16.40 < **65.92** ✓

Donde:

λ_w: Esbeltez del alma. λ_w : *16.40*

$\lambda_{máx}$: Esbeltez máxima. $\lambda_{máx}$: *65.92*

ε: Factor de reducción. ε : *0.94*

Siendo:

f_{ref}: Límite elástico de referencia. f_{ref} : *235.00* MPa

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

Resistencia a corte Y (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.4)

Se debe satisfacer:

$\eta <$ ***0.001*** ✓

El esfuerzo solicitante de cálculo pésimo se produce para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HP(1).

V_{Ed}: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. V_{Ed} : *0.12* kN

El esfuerzo cortante resistente de cálculo $V_{c,Rd}$ viene dado por:

$V_{c,Rd}$: *1244.38* kN

Donde:

A_v: Área transversal a cortante. A_v : *85.40* cm²

Siendo:

A: Área de la sección bruta. **A** : *106.00* cm²

d: Altura del alma. **d** : *206.00* mm

t_w: Espesor del alma. t_w : *10.00* mm

f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero. f_{yd} : *252.38* MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1) f_y : *265.00* MPa

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad del material. γ_{M0} : *1.05*

Resistencia a momento flector Y y fuerza cortante Z combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

0.48 kN ≤ 242.17 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HC(1).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.48* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *484.35* kN

Resistencia a momento flector Z y fuerza cortante Y combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir la resistencia de cálculo a flexión, ya que el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo $\mathbf{V_{Ed}}$ no es superior al 50% de la resistencia de cálculo a cortante $\mathbf{V_{c,Rd}}$.

0.12 kN ≤ 622.19 kN ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HP(1).

$\mathbf{V_{Ed}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo. $\mathbf{V_{Ed}}$: *0.12* kN

$\mathbf{V_{c,Rd}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo. $\mathbf{V_{c,Rd}}$: *1244.38* kN

Resistencia a flexión y axil combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

Se debe satisfacer:

η : ***0.023*** ✓

η : ***0.036*** ✓

η : ***0.070*** ✓

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen en el nudo N13, para la combinación de acciones 1.35·PP+1.5·PC(1)+1.5·PVP(1)+1.5·HC(1).

Donde:

$N_{c,Ed}$: Axil de compresión solicitante de cálculo pésimo.	$N_{c,Ed}$:	*38.04*	kN
$M_{y,Ed}$, $M_{z,Ed}$: Momentos flectores solicitantes de cálculo pésimos, según los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{y,Ed}^+$:	*2.41*	kN·m
	$M_{z,Ed}^+$:	*0.00*	kN·m
Clase: Clase de la sección, según la capacidad de deformación y de desarrollo de la resistencia plástica de sus elementos planos, para axil y flexión simple.	**Clase** :	*1*	
$N_{pl,Rd}$: Resistencia a compresión de la sección bruta.	$N_{pl,Rd}$:	*2675.24*	kN
$M_{pl,Rd,y}$, $M_{pl,Rd,z}$: Resistencia a flexión de la sección bruta en condiciones plásticas, respecto a los ejes Y y Z, respectivamente.	$M_{pl,Rd,y}$:	*265.76*	kN·m
	$M_{pl,Rd,z}$:	*125.79*	kN·m

Resistencia a pandeo: (CTE DB SE-A, Artículo 6.3.4.2)

A: Área de la sección bruta.	**A** :	*106.00*	cm²
$W_{pl,y}$, $W_{pl,z}$: Módulos resistentes plásticos correspondientes a la fibra comprimida, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	$W_{pl,y}$:	*1053.00*	cm³
	$W_{pl,z}$:	*498.40*	cm³
f_{yd}: Resistencia de cálculo del acero.	f_{yd} :	*252.38*	MPa

Siendo:

f_y: Límite elástico. (CTE DB SE-A, Tabla 4.1)	f_y :	*265.00*	MPa
γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad del material.	γ_{M1} :	*1.05*	

k_y, k_z: Coeficientes de interacción.

k_y :	*1.02*	
k_z :	*1.09*	

$C_{m,y}$, $C_{m,z}$: Factores de momento flector uniforme equivalente.	$C_{m,y}$:	*1.00*	
	$C_{m,z}$:	*1.00*	
χ_y, χ_z: Coeficientes de reducción por pandeo, alrededor de los ejes Y y Z, respectivamente.	χ_y :	*0.54*	
	χ_z :	*0.22*	
$\bar{\lambda}_y$, $\bar{\lambda}_z$: Esbelteces reducidas con valores no mayores que 1.00, en relación a los ejes Y y Z, respectivamente.	$\bar{\lambda}_y$:	*1.10*	
	$\bar{\lambda}_z$:	*1.86*	
α_y, α_z: Factores dependientes de la clase de la sección.	α_y :	*0.60*	
	α_z :	*0.60*	

Resistencia a flexión, axil y cortante combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No es necesario reducir las resistencias de cálculo a flexión y a axil, ya que se puede ignorar el efecto de abolladura por esfuerzo cortante y, además, el esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo **V_{Ed}** es menor o igual que el 50% del esfuerzo cortante resistente de cálculo **$V_{c,Rd}$**.

Los esfuerzos solicitantes de cálculo pésimos se producen para la combinación de acciones 0.8·PP+1.5·HC(1).

0.48 kN ≤ 242.17 kN ✓

Donde:

$\mathbf{V_{Ed,z}}$: Esfuerzo cortante solicitante de cálculo pésimo.	$\mathbf{V_{Ed,z}}$:	*0.48*	kN
$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$: Esfuerzo cortante resistente de cálculo.	$\mathbf{V_{c,Rd,z}}$:	*484.35*	kN

Resistencia a torsión (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.7)

La comprobación no procede, ya que no hay momento torsor.

Resistencia a cortante Z y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

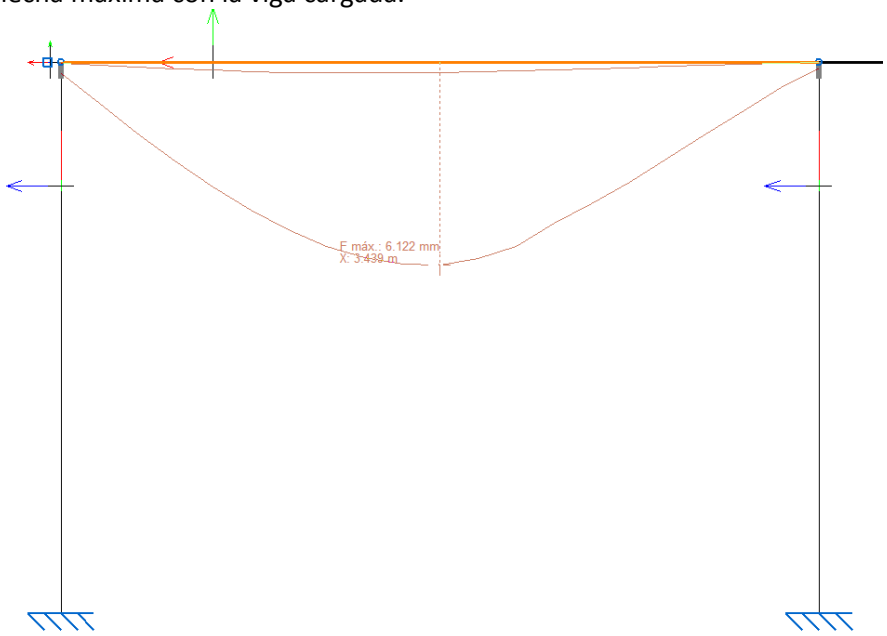
Resistencia a cortante Y y momento torsor combinados (CTE DB SE-A, Artículo 6.2.8)

No hay interacción entre momento torsor y esfuerzo cortante para ninguna combinación. Por lo tanto, la comprobación no procede.

8.1.5 Flecha máxima y relativa

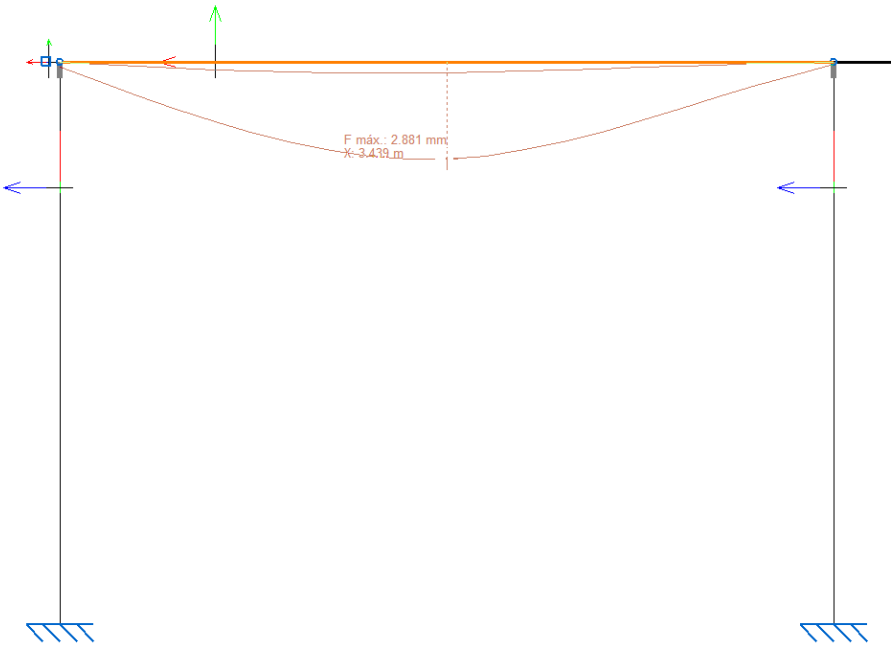
Del mismo modo que se calculó sobre la viga principal, se va a calcular la flecha máxima y relativa de las vigas laterales o carrileras, cuando la viga principal se sitúa en el centro de las mismas.

8.1.5.1 Flecha máxima con la viga cargada.



En el punto más crítico, la mayor flecha es de 6,12 mm.

8.1.5.2 Flecha máxima con la viga descargada



En los momentos en los que el cabezal no soporta la acción de ninguna bobina, la flecha es menor, con un valor de 2,881 mm.

De este modo, el descenso que sufre la viga cuando porte la bobina se corresponde con la diferencia entre las dos flechas calculadas. Así tendremos;

$$\delta_{TOTAL} = 6{,}12\ mm$$

$$\delta_{DESCARGADA} = 2{,}881\ mm$$

$$\delta_{RELATIVO} = \delta_{TOTAL} - \delta_{DESCARGADA} = 6{,}12 - 2{,}881 = 3{,}24\ mm$$

En definitiva, en el momento en que la garra abraza a la bobina y el mecanismo de elevación comienza a elevarla, la viga principal sufre un descenso de 3,24 mm.

8.1.6 Comprobación a pandeo

La carga que incide sobre el pilar:

N = carga + elev.carga + vigaPrincipal + vig.lat1 + vig.lat2 = 17,5 + 0,75 + 2 + 1 + 1 = 22,25 kN

El pilar se encuentra empotrado en su extremo inferior y se supone libre el superior. Por tanto:

$$\beta = 2$$

La longitud del pilar es de L=5 m.

Se debe cumplir

$$N \leq A \cdot f_{yd} \cdot \chi$$

Para hallar χ se comienza por calcular la esbeltez

$$\lambda = \frac{L_p}{i} = \frac{\beta \cdot L}{\sqrt{\frac{I}{\Omega}}}$$

La calculamos para los ejes x e y, por tanto:

$$\lambda_x = \frac{2 \cdot 500(cm)}{\sqrt{\frac{11260(cm^4)}{106(cm^2)}}} = 97{,}025$$

$$\lambda_y = \frac{2 \cdot 500(cm)}{\sqrt{\frac{3923(cm^4)}{106(cm^2)}}} = 164{,}378$$

De entre las dos esbelteces se escoge la de mayor valor (λ_y), pues es la situación más crítica (mayor probabilidad de pandeo en plano λ_{zx}). Se obtiene la esbeltez reducida:

$$\bar{\lambda} = \frac{\lambda_y}{\pi \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}}} = \frac{164{,}378}{\pi \cdot \sqrt{\frac{2{,}1 \cdot 10^{11}(N/m^2)}{275 \cdot 10^6(N/m^2)}}} = 1{,}893$$

Se halla el coeficiente de reducción por pandeo χ en las tablas. Se obtiene en función del valor de la esbeltez reducida y del coeficiente de imperfección;

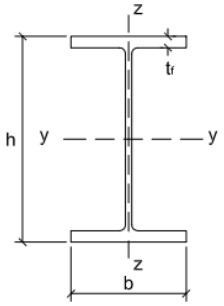
Tipo de sección		Tipo de acero	S235 a S355		S450	
		Eje de pandeo (1)	y	z	y	z
Perfiles laminados en I 	h/b > 1,2	t ≤ 40 mm	a	b	a_0	a_0
		40 mm < t ≤ 100 mm	b	c	a	a
	h/b ≤ 1,2	t ≤ 100 mm	b	c	a	a
		t > 100 mm	d	d	c	c

Tabla 67. Curva de pandeo en función de la sección transversal

Dentro de la tabla de Curva de pandeo, se selecciona el perfil en I, y dentro de este se escogen las características del perfil HE 240 B.

Se tiene, por tanto:

$$\frac{h}{b} = \frac{240}{240} = 1 \leq 1{,}2$$

$$t = 17\ mm \leq 100\ mm$$

El tipo de acero es S275 (comprendido entre S235 y S355) y el eje de pandeo corresponde con la z. Como resultado el coeficiente de imperfección es igual a c.

Con los datos presentados, se procede a hallar el coeficiente de pandeo.

Esbeltez reducida	Curva de pandeo a_0	a	b	c	d
Coeficiente (α) de imperfección	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76
≤ 0,20	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,30	0,99	0,98	0,96	0,95	0,92
0,40	0,97	0,95	0,93	0,90	0,85
0,50	0,95	0,92	0,88	0,84	0,78
0,60	0,93	0,89	0,84	0,79	0,71
0,70	0,90	0,85	0,78	0,72	0,64
0,80	0,85	0,80	0,72	0,66	0,58
0,90	0,80	0,73	0,66	0,60	0,52
1,00	0,73	0,67	0,60	0,54	0,47
1,10	0,65	0,60	0,54	0,48	0,42
1,20	0,57	0,53	0,48	0,43	0,38
1,30	0,51	0,47	0,43	0,39	0,34
1,40	0,45	0,42	0,38	0,35	0,31
1,50	0,40	0,37	0,34	0,31	0,28
1,60	0,35	0,32	0,31	0,28	0,25
1,80	0,28	0,27	0,25	0,23	0,21
2,00 (1)	0,23	0,22	0,21	0,20	0,18
2,20 (1)	0,19	0,19	0,18	[illegible]	0,15
2,40 (1)	0,16	0,16	0,15	0,14	0,13
2,70 (2)	0,13	0,13	0,12	0,12	0,11
3,00 (2)	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09

(1) esbeltez intolerable en los elementos principales
(2) esbeltez intolerable incluso en elementos de arriostramiento

Tabla 68. Valores del coeficiente de pandeo

Es evidente que se debe interpolar para dar con el resultado correcto:

$$\frac{x - 0{,}23}{1{,}893 - 1{,}8} = \frac{0{,}2 - 0{,}23}{2 - 1{,}8}$$

$$x = \chi = 0{,}216$$

Por último, se comprueba si el perfil cumple a pandeo;

$$N \leq A \cdot f_{yd} \cdot \chi$$

$$22500\ (N) \leq 106\ (cm^2) \cdot \frac{27500}{1{,}05}\left(\frac{N}{cm^2}\right) \cdot 0{,}216$$

$$22500 \leq 599657 \implies CUMPLE$$

8.2 Cimentación

En este apartado se detallan las especificaciones relativas a las 6 zapatas que se realizan en la base de los 6 pilares. Como se ha comentado, las 6 zapatas serán de las mismas dimensiones, cumpliendo los requisitos de las centrales, que son las que se encuentran más solicitadas.

Para el cálculo en CYPE se escoge la opción de zapatas aisladas sin armar, ya que es una de las opciones más baratas y con buenas prestaciones para la aplicación.

Se deshecha un sistema de zapatas de hormigón armado uniendo todas las zapatas mediante vigas riostras ya que no es del todo necesario y se debería taladrar mucha más superficie, lo que supone un problema ya que la estructura se instala sobre una solera dentro de la nave industrial. Además, el suelo sobre el que se asientan los pilares es suficientemente resistente y la dirección de las cargas es fundamentalmente vertical.

El hormigón utilizado será HM-30, Control estadístico.

8.2.1 Hipótesis de cargas

La distribución de cargas y las hipótesis siguen el mismo formato que lo establecido en el apartado 8.1.3. La diferencia radica en los coeficientes de seguridad, puesto que la normativa es distinta a la del acero. En este caso se toma como referencia el documento EHE-98-CTE.

8.2.1.1 E.L.U. de rotura. Hormigón en cimentaciones: EHE-98-CTE.

La siguiente tabla refleja los coeficientes de seguridad que adquieren cada una de las cargas en el cálculo de la resistencia u oposición a la rotura del hormigón.

Persistente o transitoria				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.600	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.600	1.000	0.700

Tabla 69. Coeficientes de seguridad para el hormigón a resistencia

8.2.1.2 E.L.S. Fisuración. Hormigón en cimentaciones: EHE-98-CTE.

La siguiente tabla refleja los coeficientes de seguridad que adquieren cada una de las cargas en el cálculo a fisuración.

Cuasipermanente				
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)		Coeficientes de combinación (ψ)	
	Favorable	Desfavorable	Principal (ψ_p)	Acompañamiento (ψ_a)
Carga permanente (G)	1.000	1.000	-	-
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000	0.600	0.600

Tabla 70. Coeficientes para el hormigón a fisuración

8.2.1.3 Tensiones sobre el terreno

La siguiente tabla refleja los coeficientes de seguridad que adquieren cada una de las cargas en el estudio de las tensiones sobre el terreno.

Acciones variables sin sismo		
	Coeficientes parciales de seguridad (γ)	
	Favorable	Desfavorable
Carga permanente (G)	1.000	1.000
Sobrecarga (Q)	0.000	1.000

Tabla 71. Coeficientes para el hormigón a tensiones del terreno

8.2.2 Resultados cimentación

Cada una de las 6 zapatas será de hormigón en masa (HM-30, Control estadístico) cuadrada de 100 cm de ancho y 35 cm de canto.

Cada zapata ocupa un volumen de 0,35 m^3, lo que hace un total de 2,10 m^3 de hormigón.

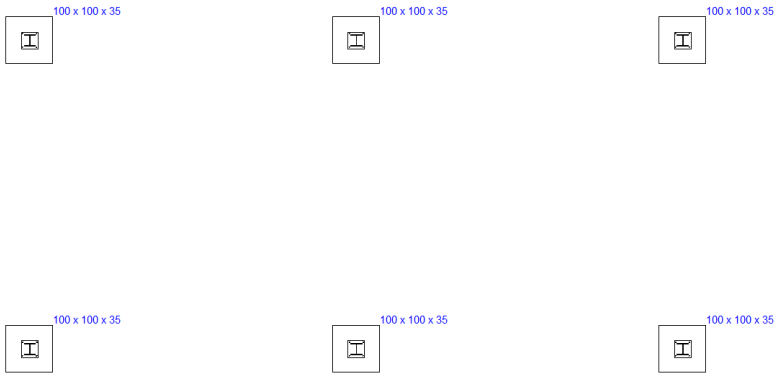


Ilustración 113. Disposición de las zapatas.

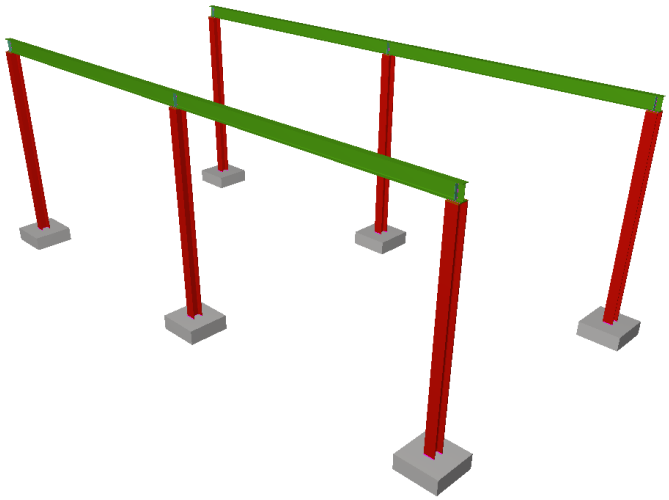


Ilustración 114. Estructura sobre las cimentaciones

8.2.3 Comprobaciones cimentación

Solo se comprueba el nudo más solicitado, que corresponde con el del pilar central.

Referencia: N13 Dimensiones: 100 x 100 x 35		
Comprobación	Valores	Estado
Tensiones sobre el terreno: *Criterio de CYPE Ingenieros*		
- Tensión media en situaciones persistentes:	Máximo: 0.2 MPa Calculado: 0.0347274 MPa	Cumple
- Tensión máxima en situaciones persistentes:	Máximo: 0.249959 MPa Calculado: 0.0443412 MPa	Cumple
Vuelco de la zapata: *Si el % de reserva de seguridad es mayor que cero, quiere decir que los coeficientes de seguridad al vuelco son mayores que los valores estrictos exigidos para todas las combinaciones de equilibrio.*		
- En dirección X:	Reserva seguridad: 1062.1 %	Cumple
- En dirección Y:	Reserva seguridad: 181.9 %	Cumple
Flexión en la zapata:		
- En dirección X:	Momento: 2.79 kN·m	Cumple
- En dirección Y:	Momento: 3.38 kN·m	Cumple
Cortante en la zapata:		
- En dirección X:	Tensión tangencial: 0.00 MPa	Cumple
- En dirección Y:	Tensión tangencial: 0.00 MPa	Cumple
Compresión oblicua en la zapata: - Situaciones persistentes: *Criterio de CYPE Ingenieros*	Máximo: 5000 kN/m² Calculado: 98 kN/m²	Cumple
Canto mínimo: *Artículo 59.8.1 de la norma EHE*	Mínimo: 35 cm Calculado: 35 cm	Cumple
Espacio para anclar arranques en cimentación: - N13:	Mínimo: 30 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional: - Zapata de tipo rígido (Artículo 59.2 de la norma EHE-98) - Relación máxima momento actuante/momento resistente (En dirección X): 0.12 - Relación máxima momento actuante/momento resistente (En dirección Y): 0.14 - Tensión tangencial de agotamiento (En dirección X): 0.00 MPa - Tensión tangencial de agotamiento (En dirección Y): 0.00 MPa		

Tabla 72. Comprobaciones de la cimentación

8.2.4 Unión a la zapata (anclaje)

La unión del pilar HE 240 B a la zapata de hormigón la componen una placa base de 350x350x12, los respectivos rigidizadores y 4 pernos de 14 mm de diámetro y 30 cm de longitud (con gancho a 180 grados).

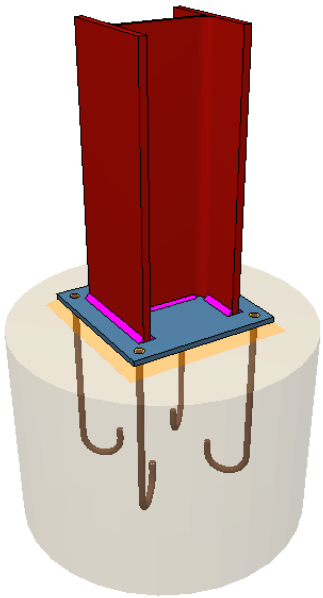


Ilustración 115. Anclaje

8.2.5 Listado elementos del anclaje

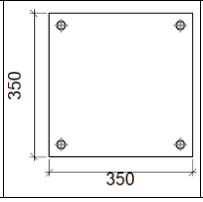
Elementos complementarios											
Pieza	Geometría				Taladros				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Cantidad	Diámetro exterior (mm)	Diámetro interior (mm)	Bisel (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Placa base		350	350	12	4	22	18	3	S275	275.0	410.0

Tabla 73. Datos y dimensiones placa de anclaje

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En taller	A tope en bisel simple con talón de raíz amplio	3	201
	En el lugar de montaje	En ángulo	5	328
			8	924

Tabla 74. Soldaduras en el anclaje

Placas de anclaje				
Material	Elementos	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Placa base	1	350x350x12	11.54
			Total	11.54
B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)	Pernos de anclaje	4	Ø 16 - L = 348	2.20
			Total	2.20

Tabla 75. Placas de anclaje y pernos de anclaje

8.2.6 Comprobaciones anclaje

1) Pilar HE 240 B

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).
Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).
En el caso de uniones en T

- si a > 120° ⇒ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si a < 60° ⇒ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).
Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

β_w: coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_\perp$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$: tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_\perp$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del ala superior	En ángulo	8	240	12.0	90.00
Soldadura del alma	En ángulo	5	164	10.0	90.00
Soldadura del ala inferior	En ángulo	8	240	12.0	90.00
a: Espesor garganta *l: Longitud efectiva* *t: Espesor de piezas*					

Tabla 76. Comprobaciones geométricas en el anclaje (HE 240 B)

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\|\|}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del ala superior	5.5	5.5	0.1	10.9	2.83	5.5	1.66	410.0	0.85
Soldadura del alma	4.7	4.7	0.6	9.4	2.44	4.7	1.43	410.0	0.85
Soldadura del ala inferior	5.5	5.5	0.1	10.9	2.83	5.5	1.66	410.0	0.85

Tabla 77. Comprobaciones a resistencia en el anclaje (HE 240 B)

2) Placa de anclaje

Referencia: -Placa base: Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 12 mm -Pernos: 4Ø16 mm L=30 cm Gancho a 180 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
Separación mínima entre pernos: *3 diámetros*	Mínimo: 48 mm Calculado: 291 mm	Cumple
Separación mínima pernos-borde: *1.5 diámetros*	Mínimo: 24 mm Calculado: 30 mm	Cumple
Longitud mínima del perno: *Se calcula la longitud de anclaje necesaria por adherencia.*	Mínimo: 16 cm Calculado: 30 cm	Cumple
Anclaje perno en hormigón:		
-Tracción:	Máximo: 53.34 kN Calculado: 3.42 kN	Cumple
-Cortante:	Máximo: 37.34 kN Calculado: 0.13 kN	Cumple
-Tracción + Cortante:	Máximo: 53.34 kN Calculado: 3.61 kN	Cumple
Tracción en vástago de pernos:	Máximo: 64.32 kN Calculado: 3.36 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en vástago de pernos:	Máximo: 380.952 MPa Calculado: 16.7543 MPa	Cumple
Aplastamiento perno en placa: *Límite del cortante en un perno actuando contra la placa*	Máximo: 100.57 kN Calculado: 0.12 kN	Cumple
Tensión de Von Mises en secciones globales:	Máximo: 261.905 MPa	
-Derecha:	Calculado: 22.7594 MPa	Cumple

Referencia: -Placa base: Ancho X: 350 mm Ancho Y: 350 mm Espesor: 12 mm -Pernos: 4Ø16 mm L=30 cm Gancho a 180 grados -Disposición: Posición X: Centrada Posición Y: Centrada		
Comprobación	Valores	Estado
- Izquierda:	Calculado: 22.7594 MPa	Cumple
- Arriba:	Calculado: 36.2552 MPa	Cumple
- Abajo:	Calculado: 36.2552 MPa	Cumple
Flecha global equivalente: *Limitación de la deformabilidad de los vuelos*	Mínimo: 250	
- Derecha:	Calculado: 6311.82	Cumple
- Izquierda:	Calculado: 6311.82	Cumple
- Arriba:	Calculado: 3859.55	Cumple
- Abajo:	Calculado: 3859.55	Cumple
Tensión de Von Mises local: *Tensión por tracción de pernos sobre placas en voladizo*	Máximo: 261.905 MPa Calculado: 0 MPa	Cumple
Se cumplen todas las comprobaciones		
Información adicional:		
- Relación rotura pésima sección de hormigón: 0.0143		

Tabla 78. Comprobaciones placa de anclaje

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).
Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).
La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

β_w: coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_\perp$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$: tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_\perp$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Resistencia de cálculo de las soldaduras a tope (CTE DB SE-A 8.6.3).
En uniones a tope con penetración parcial la resistencia de cálculo se determinará como la de los cordones de soldadura en ángulo, teniendo en cuenta lo siguiente:

a) el espesor de garganta será la profundidad de la penetración que se pueda conseguir de forma estable, que se debe determinar mediante evidencia experimental previa.

para el caso de que se tenga preparación de bordes en U, V, J o recto, se tomará como espesor de garganta el canto nominal de la preparación menos 2,0 mm, a menos que se puedan justificar experimentalmente valores superiores.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	Preparación de bordes (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura de los pernos a la placa base	De penetración parcial	3	50	12.0	90.00
l: Longitud efectiva *t: Espesor de piezas*					

Tabla 79. Comprobaciones geométricas de la placa de anclaje

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura de los pernos a la placa base	0.0	0.0	66.8	115.8	30.00	0.0	0.00	410.0	0.85

Tabla 80. Comprobaciones a resistencia de la placa de anclaje

8.3 Soldadura (uniones entre perfiles)

En este apartado se aborda la unión entre los pilares (HE 240 B) y las vigas carrileras (IPE 300). Se debe colocar una chapa entre el extremo superior de pilar y la parte exterior del ala de la viga. Esta placa de 240x240 es lo que mantendrá a los dos perfiles unidos. También se deben incluir dos rigidizadores además de los cordones de soldadura aplicados en el lugar de montaje.

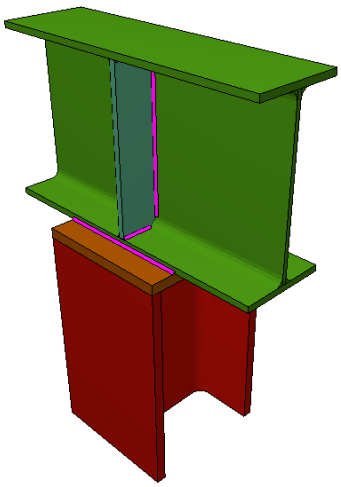


Ilustración 116. Unión soldada

8.3.1 Listados y mediciones

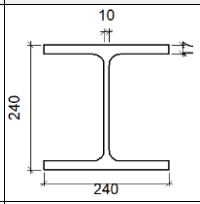
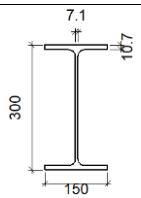
Perfiles									
Pieza	Descripción	Geometría					Acero		
		Esquema	Canto total (mm)	Ancho del ala (mm)	Espesor del ala (mm)	Espesor del alma (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Pilar	HE 240 B		240	240	17	10	S275	275.0	410.0
Viga	IPE 300		300	150	10.7	7.1	S275	275.0	410.0

Tabla 81. Datos de los perfiles de la unión

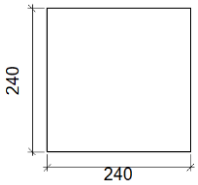
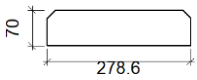
Elementos complementarios							
Pieza	Geometría				Acero		
	Esquema	Ancho (mm)	Canto (mm)	Espesor (mm)	Tipo	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Chapa frontal		240	240	18	S275	275.0	410.0
Rigidizador		278.6	70	10	S275	275.0	410.0

Tabla 82. Datos de los elementos complementarios de la unión

Soldaduras				
f_u (MPa)	Ejecución	Tipo	Espesor de garganta (mm)	Longitud de cordones (mm)
410.0	En el lugar de montaje	En ángulo	3	1914
			6	220

Tabla 83. Cordones de soldadura

Chapas				
Material	Tipo	Cantidad	Dimensiones (mm)	Peso (kg)
S275	Rigidizadores	2	278x70x10	3.06
	Chapas	1	240x240x18	8.14
			Total	11.20

Tabla 84. Datos complementarios de las chapas

8.3.2 Comprobaciones

1) Viga IPE 300

– Rigidizadores

Resistencia de las secciones a corte (CTE DB SE-A, 6.2.4)

El esfuerzo cortante de cálculo V_{Ed} será menor que la resistencia de las secciones a cortante, $V_{c,Rd}$, que, en ausencia de torsión, será igual a la resistencia plástica:

19.52 kN ≤ 406.15 kN ✓

V_{Ed}: Esfuerzo cortante de cálculo. **V_{Ed}** : *19.52* kN

$V_{c,Rd}$: Resistencia plástica de las secciones a cortante $V_{pl,Rd}$ **$V_{c,Rd}$** : *406.15* kN

Donde:

A_v: Área sometida a cortante **A_v** : *2686* mm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo. **f_{yd}** : *261.90* N/mm²

Resistencia de las secciones a tracción (CTE DB SE-A, 6.2.3)

El valor de cálculo del esfuerzo axil de tracción N_{Ed} deberá cumplir, para cualquier sección transversal:

19.52 kN ≤ 157.14 kN ✓

Donde:

N_{Ed}: Valor de cálculo del esfuerzo axil. **N_{Ed}** : *19.52* kN

$N_{t,Rd}$: Resistencia de cálculo de la sección a tracción. **$N_{t,Rd}$** : *157.14* kN

Donde:

A: Área sometida a tracción **A** : *600.00* mm²

f_{yd}: Resistencia de cálculo. **f_{yd}** : *261.90* N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico. **f_y** : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. **γ_{M0}** : *1.05*

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Rigidizadores	Cortante	kN	19.52	406.15	4.81
	Tracción	kN	19.52	157.14	12.42

Tabla 85. Comprobaciones a resistencia de los rigidizadores en IPE 300

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).
Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).
En el caso de uniones en T

- si a > 120° ⇒ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si a < 60° ⇒ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).
Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

β_w: coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

$\mathbf{f_u}$: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_\perp$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$: tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_\perp$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del rigidizador al alma	En ángulo	3	249	7.1	90.00
Soldadura del rigidizador a las alas	En ángulo	3	52	7.1	90.00
Soldadura de la chapa a los bordes exteriores del ala	En ángulo	3	240	10.7	90.00

a: Espesor garganta
l: Longitud efectiva
t: Espesor de piezas

Tabla 86. Comprobaciones geométricas de los cordones en IPE 300

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del rigidizador al alma	0.0	0.0	13.1	22.7	5.87	0.0	0.00	410.0	0.85
Soldadura del rigidizador a las alas	La comprobación no procede.							410.0	0.85
Soldadura de la chapa a los bordes exteriores del ala	16.6	16.6	0.0	33.2	8.61	16.6	5.06	410.0	0.85

Tabla 87. Comprobaciones a resistencia de los cordones en IPE 300

2) Pilar HE 240 B

– Chapa frontal

Resistencia conjunta del alma del pilar y la chapa frontal (Criterio de CYPE Ingenieros)

La comprobación no procede.

Tensión de Von Mises en el alma del pilar (CTE DB SE-A, 6.1)

Debe cumplirse:

50.76 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

Donde:

σ: Tensión normal — σ : *-50.75* N/mm²

τ_{yz}: Tensión tangencial yz — τ_{yz} : *0.00* N/mm²

τ_{xz}: Tensión tangencial xz — τ_{xz} : *0.32* N/mm²

f_y: Tensión de límite elástico. — f_y : *275.00* N/mm²

γ_{M0}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material. — γ_{M0} : *1.05*

– Alma

Resistencia a pandeo del alma (Criterio de CYPE Ingenieros)

Debe cumplirse:

50.75 N/mm² ≤ 261.90 N/mm² ✓

σ_{Ed}: Valor de cálculo de la tensión normal de compresión. — σ_{Ed} : *50.75* N/mm²

σ_{Rd}: Tensión resistente de cálculo a pandeo del elemento comprimido. — σ_{Rd} : *261.90* N/mm²

Donde:

t_f: Espesor del ala. — t_f : *10.0* mm

h_w: Canto exterior del alma — h_w : *150* mm

f_y: Tensión de límite elástico. — f_y : *275.00* N/mm²

γ_{M1}: Coeficiente parcial de seguridad relativo a los fenómenos de inestabilidad γ_{M1} : *1.05*

Comprobaciones de resistencia					
Componente	Comprobación	Unidades	Pésimo	Resistente	Aprov. (%)
Chapa frontal	Tensiones combinadas	--	--	--	19.38
Alma	Pandeo local	N/mm²	50.75	261.90	19.38

Tabla 88. Comprobaciones a resistencia de los rigidizadores en HE 240 B

Cordones de soldadura

Disposiciones constructivas y clasificación (CTE DB SE-A 8.6.1).
Las prescripciones que siguen serán aplicables cuando los elementos a unir tienen al menos 4 mm de espesor y son de aceros estructurales soldables.

Soldadura en ángulo. Se utiliza para unir elementos cuyas caras de fusión forman un ángulo (a) comprendido entre 60° y 120°. Pueden ser uniones en T o de solape (figura 8.6).
En el caso de uniones en T

- si a > 120° ⇒ No se considerará que se pueden transmitir esfuerzos.
- si a < 60° ⇒ Se considerará como soldadura a tope con penetración parcial.

La longitud efectiva de un cordón de soldadura en ángulo será la total del cordón siempre que se mantenga el espesor de garganta nominal (véase figura 8.9), pero no se considerarán cordones cuya longitud sea inferior a 40 mm o a seis veces el ancho de garganta.

Resistencia de cálculo de las soldaduras en ángulo (CTE DB SE-A 8.6.2).
Espesor de garganta del cordón en ángulo. Se observarán las siguientes limitaciones:

- el espesor de garganta de un cordón de soldadura en ángulo no será menor de 3 mm.
- en el caso de soldadura con penetración profunda se podrá tomar el espesor de garganta dado en la figura 8.9.c) siempre que se demuestre por ensayos que se puede conseguir de forma estable la penetración requerida.

La soldadura de ángulo será suficiente si, con las tensiones de cálculo, se cumple:

siendo

β_w: coeficiente de correlación dado en la tabla 8.1.

f_u: resistencia última a tracción de la pieza más débil de la unión.

$\sigma_\perp$: tensión normal perpendicular al plano de la garganta.

$\sigma_{||}$: tensión normal paralela al eje del cordón. No actúa en el plano de comprobación ni se tiene en cuenta en las comprobaciones a realizar.

$\tau_\perp$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) perpendicular al eje del cordón.

$\tau_{||}$: tensión tangencial (en el plano de la garganta) paralelo al eje del cordón.

Comprobaciones geométricas					
Ref.	Tipo	a (mm)	l (mm)	t (mm)	Ángulo (grados)
Soldadura del alma	En ángulo	6	110	10.0	90.00
a: Espesor garganta *l: Longitud efectiva* *t: Espesor de piezas*					

Tabla 89. Tabla 86. Comprobaciones geométricas de los cordones en HE 240 B

Comprobación de resistencia									
Ref.	Tensión de Von Mises					Tensión normal		f_u (N/mm²)	β_w
	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	$\tau_\perp$ (N/mm²)	$\tau_{\parallel}$ (N/mm²)	Valor (N/mm²)	Aprov. (%)	$\sigma_\perp$ (N/mm²)	Aprov. (%)		
Soldadura del alma	18.1	18.1	0.0	36.2	9.39	18.1	5.52	410.0	0.85

Tabla 90. Comprobaciones a resistencia de los cordones en HE 240 B

9 Cálculo del descenso relativo y total

En apartados anteriores se ha calculado el alargamiento que padecen los materiales de los distintos elementos que componen el puente grúa, lo que posibilita el conocimiento de los descensos relativo y total del puente grúa.

Los datos se recogen en la siguiente tabla. Cabe señalar que dichos datos reflejan el punto exacto en el que el carro-polipasto se sitúa en el centro de la viga principal y las vigas testeras equidistan a la misma distancia de los pilares contiguos.

	desc. Relativo	desc. Total	Diferencia
Brazos de la garra	0	0,183	0,183
Bloque de la garra	0	0,087	0,087
Cables de elevación	0,477	1,4313	0,9543
Viga principal	2,777	4,87	2,093
Viga carrilera	2,881	6,12	3,239
SUMA	6,135	12,6913	6,5563

Tabla 91. Descenso de los componentes del PG

Los elementos más sujetos a alargamiento están contemplados en la tabla, si bien es cierto que otros componentes no se han tenido en cuenta. Para un estudio más preciso se necesitaría conocer los desplazamientos sobre el eje y de:

- Pilares (el acortamiento que sufren por compresión)
- Elementos susceptibles de alargarse del carro-polipasto
- Gancho y poleas

El desplazamiento total (puente grúa cargado) sufrido por la parte inferior de los brazos de la garra es de 12,147 mm. Sin embargo, la garra ya sufre un descenso por el mero hecho de que todo el conjunto tiene peso propio. Éste es el descenso relativo (puente grúa sin carga), con un valor de 5,948 mm. Este desplazamiento se toma como cota cero, por lo cual el descenso real del puente grúa será de:

$$\delta = \delta_{TOTAL} - \delta_{RELATIVO} = 12{,}147 - 5{,}948 = 6{,}2\ mm$$

Este valor, que a su vez variará (siendo inferior) dependiendo del punto en el espacio 3D en el que se coloque la garra es de vital importancia dentro del modelo o sistema de automatización.

Sin embargo, en el presente proyecto dicho desplazamiento no supondrá mayor trascendencia. Esto es debido a que la automatización solo se realiza la secuencia de movimientos de la garra, además de que en ella se simplifican cálculos admitiendo que no existe alargamiento ni elasticidad en los materiales.

10 Alturas características del puente grúa

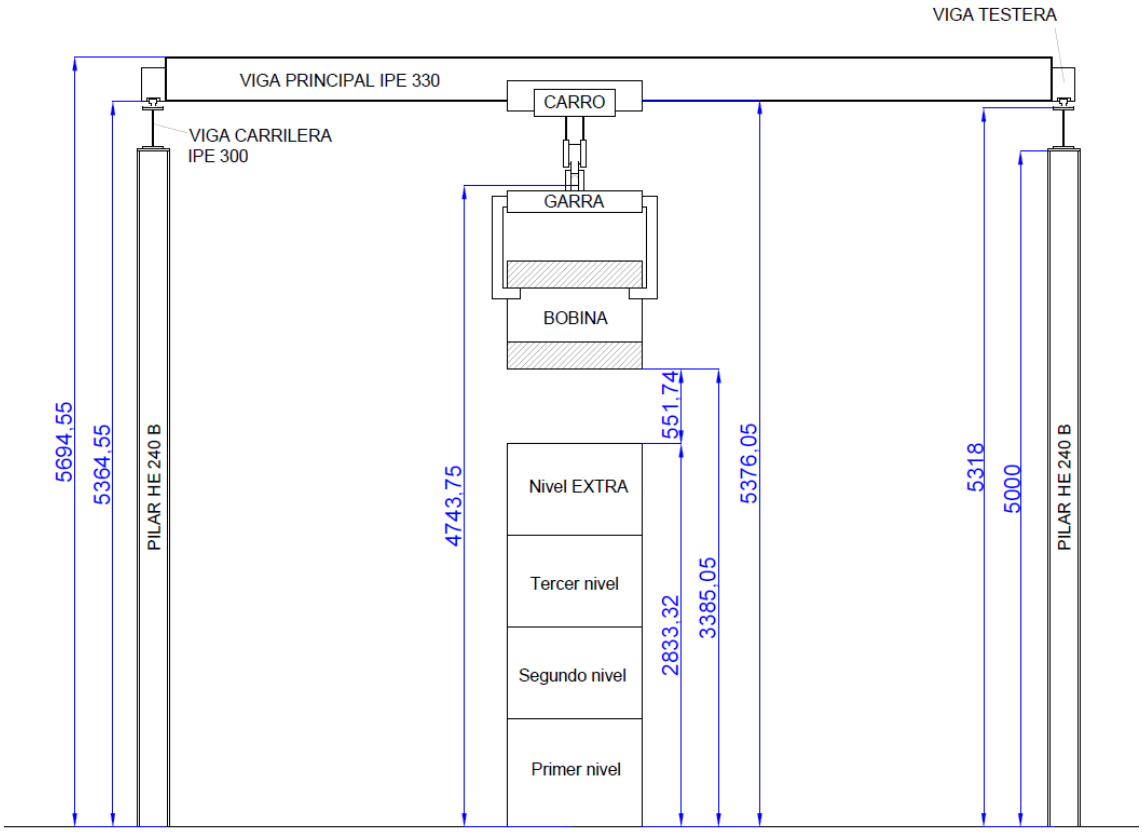


Ilustración 117. Alturas características del puente grúa

La Ilustración 117 refleja las medidas en altura más importantes del puente grúa. Como se ve, la pila de bobinas (con un cuarto nivel incluido), suponen una altura de 2,83 metros. Por su lado, el gancho alcanza su altura máxima en los 4,74 metros. La altura máxima de la viga principal y por consecuencia del PG es de 5,69 metros.

En el apartado 6.1.1 se había estipulado un valor mínimo para la variable denominada H. Esta distancia hacía referencia al espacio que debe haber entre la bobina suspendida por la garra en su punto más alto y la del cuarto nivel. También comprendía el espacio cedido a futuras modificaciones de la garra, donde se le otorgue giro. La distancia mínima que cubrir era de 500 mm. Finalmente, este valor mínimo no se supera y alcanza el valor de 551,74 mm.

En caso de que se instalaran 4 niveles en el almacén de bobinas, el sistema de giro tendría un espacio de maniobre de 451,74 mm, facilitando el transporte de las bobinas sobre las almacenadas con un margen de 10 centímetros.

11 Automatización en PLC

11.1 Descripción y análisis

La automatización de la máquina o puente grúa se va a realizar por medio de un proceso secuencial para el cual se emplea el método Grafcet. Para ello se emplea el autómata programable CP1E-N40DR-A.

Esta solución a la aplicación es únicamente una aproximación, ya que determinados aspectos de la automatización no se especifican. Es el caso de los encoders, cuya implantación en la programación se limita a haber alcanzado el valor preestablecido, que debe ser comunicado de la cámara de visión artificial al procesador y de ahí al PLC. Del mismo modo, elementos de seguridad como los finales de carrera no se incluyen en la programación del PG, simplificando el proceso.

En definitiva, este apartado pretende orientar a la realización del Grafcet de la aplicación, donde se deben secuenciar los movimientos del PG.

A modo de resumen recordatorio, el PG se encarga del almacenado de bobinas. Se distinguen dos movimientos fundamentales.

- Almacenado de bobinas: este movimiento es el que realiza al recoger una bobina de la zona de INPUT, y depositarla en el espacio de almacenado de bobinas.
- Trasporte de bobinas a máquina de procesado: este movimiento es el que realiza al recoger una bobina de la zona de almacenado de bobinas y depositarla en la zona de OUTPUT.

La garra partirá siempre de una misma posición inicial, que se corresponde con:

- ALTURA (eje z): la máxima cota que puede alcanzar.
- PROFUNDIDAD (eje x): el punto más cercano a la zona de INPUT (encima)
- ANCHURA (eje y): carro situado en el centro de la viga principal.

Los movimientos en el eje z se monitorizan con el motor del tambor del polipasto, los del eje y con los motores de las ruedas del carro y los del eje x con los motores de las vigas testeras. La apertura y cierre de los brazos de la garra es posible gracias a los servomotores.

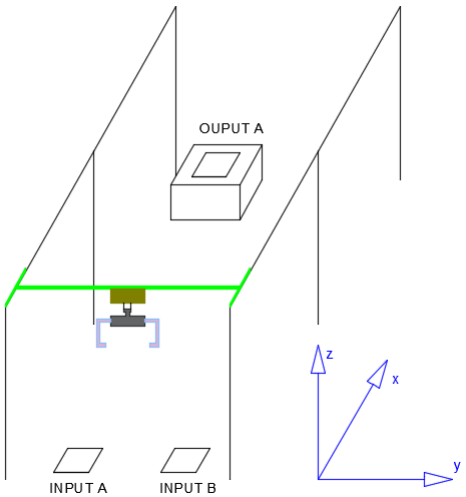


Ilustración 118. Ejes sobre el esquema del PG

En la imagen se ha prescindido de dibujar el espacio dedicado a OUTPUT B, ya que restaría visibilidad al conjunto. OUTPUT B se ubica contiguo a OUTPUT A continuando por el eje y.

Los movimientos de cada uno de los motores se controlan mediante encoders, que son dispositivos electromecánicos que convierten la posición angular del eje de los motores en una cifra que se corresponde con la distancia lineal recorrida por elemento que controlan. De esta forma, se conocen las coordenadas (x, y, z) en las que se encuentra la garra en todo momento.

El sistema de control del PG debe contar al mismo tiempo con cámaras de visión artificial, que determinan que lugares están ocupados por una bobina almacenada y cuales están libres. Deberá comunicarse con el controlador para enviar información al PLC acerca de las coordenadas en las que es posible depositar una bobina o aquellas en las que es posible recoger.

En la programación en PLC no se contemplan los elementos de visión artificial, simplificando el proceso. Del mismo modo, se asume que en el momento en que un encoder se posicione en el lugar predicho, enviará una señal al PLC.

A continuación, se explica la secuencia en la programación del PG:

El puente grúa desde su posición de partida tiene la posibilidad de realizar 4 acciones, de las que únicamente se desarrollará una por la similitud entre las cuatro. Todas poseen las mismas etapas, pero difieren los destinos de la garra:

- Secuencia 1: recoge una bobina de INPUT A y la deposita en una fila del almacén. Se pone en marcha presionando un pulsador de marcha ubicado en el pilar más cercano al área de INPUT A.
- Secuencia 2: recoge una bobina de INPUT B y la deposita en una fila del almacén. Se pone en marcha presionando un pulsador de marcha ubicado en el pilar más cercano al área de INPUT B.
- Secuencia 3: recoge una bobina de una fila del almacén y la deposita en OUTPUT A. Se pone en marcha presionando un pulsador de marcha ubicado en el pilar más cercano al área de OUTPUT A.
- Secuencia 4: recoge una bobina de una fila del almacén y la deposita en OUTPUT B. Se pone en marcha presionando un pulsador de marcha ubicado en el pilar más cercano al área de OUTPUT B.

Si el PG recibe la orden de realizar otra secuencia mientras se está realizando una, la nueva secuencia no comenzará hasta no haber finalizado la que estaba en marcha.

Para poner la máquina en funcionamiento se debe pulsar a ON el selector de la máquina ubicado en el pilar más cercano a INPUT 2. En este instante, la máquina está disponible para poder realizar cualquiera de las 4 secuencias.

Si se pulsa la seta de emergencia se para todo el proceso, a excepción de los frenos de los motores, que se activan todos. Existe una seta de emergencia en cada uno de los pilares laterales. Una luz de emergencia determina que se ha pulsado la seta, así como cualquier otra avería.

La seta de emergencia es un pulsador con enclavamiento, por lo que para continuar el ciclo hay que liberarla y pulsar RESET.

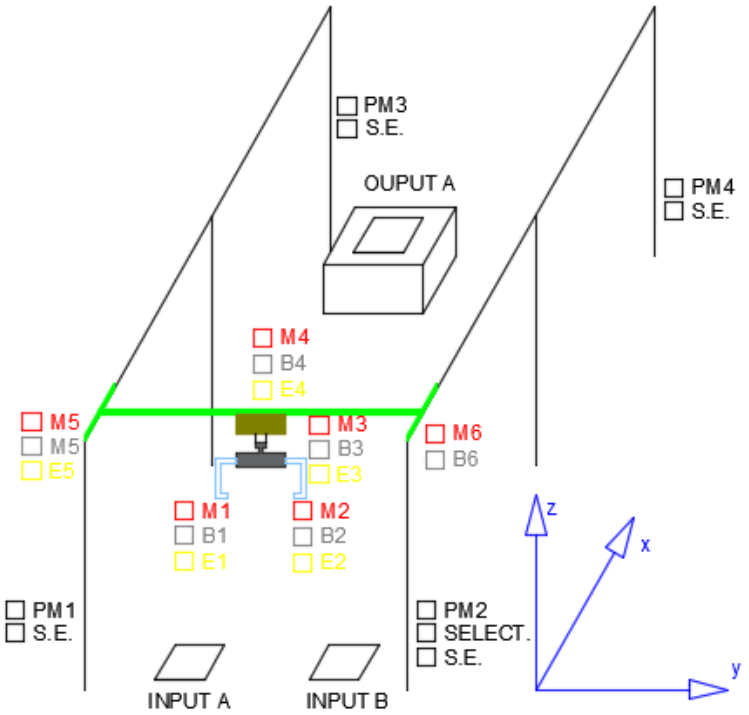


Ilustración 119. Entradas y salidas para la automatización

Movimiento 1 (IDA): La secuencia número 1 comienza si previamente puesto a ON el selector se pulsa PM1. Además, los 3 encoders deben determinar que la garra se encuentra en la posición inicial. En ese instante se produce el primer movimiento, trasladándose la garra hacia su izquierda (M4I). Al resto de motores se les acciona el freno.

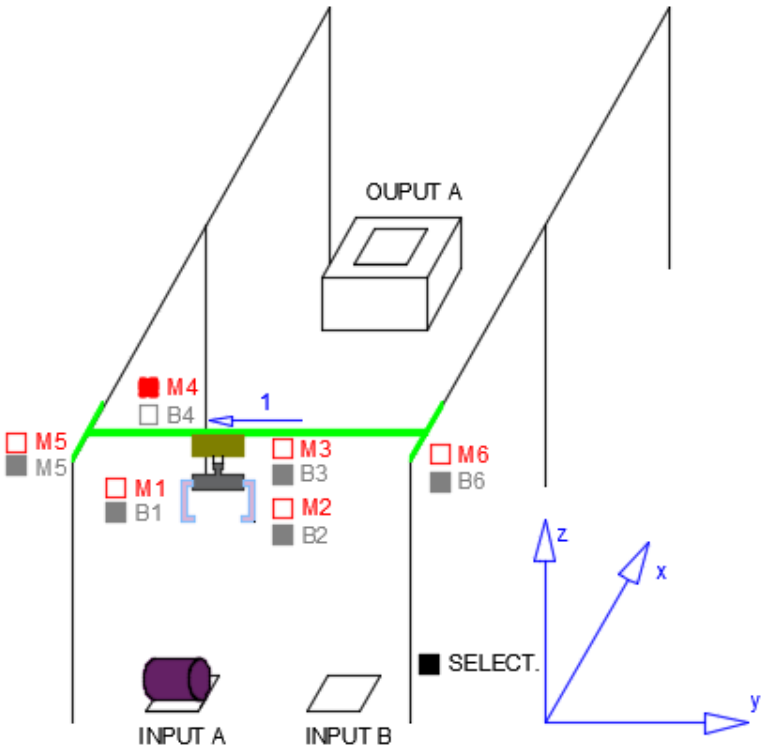


Ilustración 120. Esquema movimiento 1 del PG

Movimiento 2 (IDA):

El motor controlado por un variador ha dirigido el carro hasta el punto indicado del eje y. En ese instante, el encoder (E4) envía una señal de aviso y el motor M4 se bloquea. Es el momento de la apertura de la garra, para ello se accionan dos motores (M1I y M2D). El resto mantienen el freno activado.

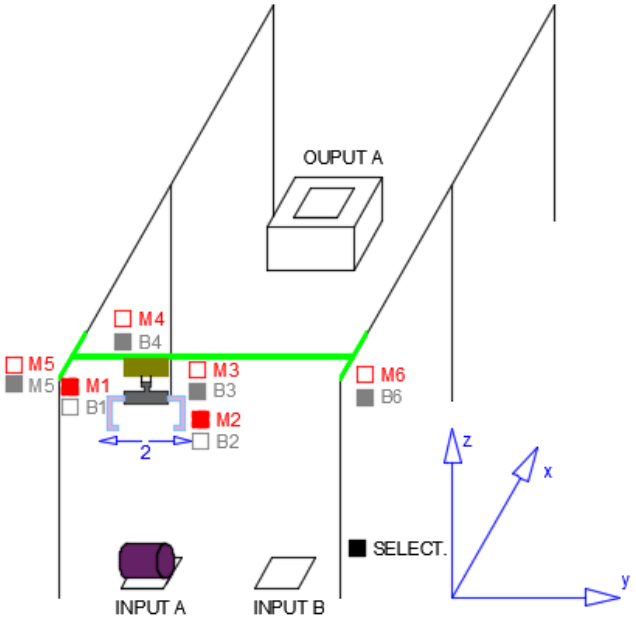


Ilustración 121. Esquema movimiento 2 del PG

Movimiento 3 (IDA):

En el momento en que las garras han alcanzan su apertura máxima, los dos encoders (E1 y E2) dan paso a la siguiente etapa, que corresponde con el descenso de la garra hacia la bobina. Para que se produzca, se activa el motor conectado al tambor del polipasto (M3I). El resto permanecen frenados.

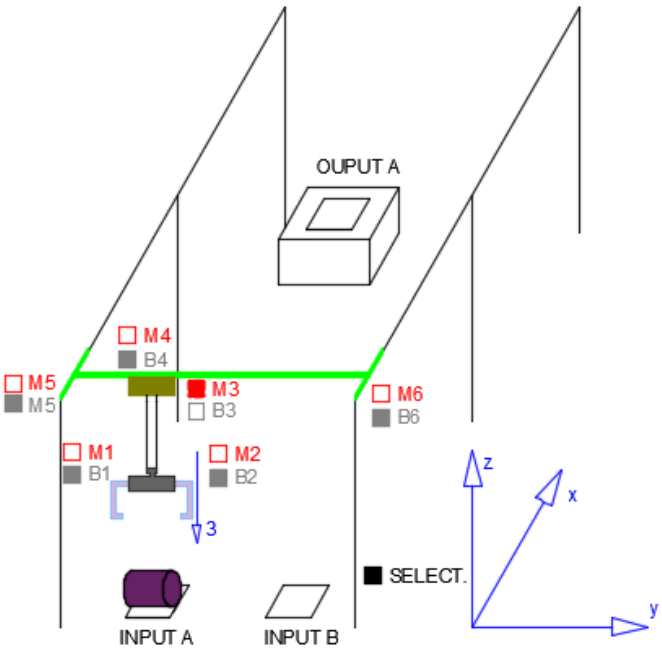


Ilustración 122. Esquema movimiento 3 del PG

Movimiento 4 (IDA):

La garra ha llegado a situar las terminaciones de los brazos en el centro de la bobina. En ese instante se ponen en marcha los motores de la garra para dar lugar al cierre de ésta. Por tanto, se activan los motores M1D y M1I. Sus encoders (E1 y E2) determinarán el instante en que se deben frenar.

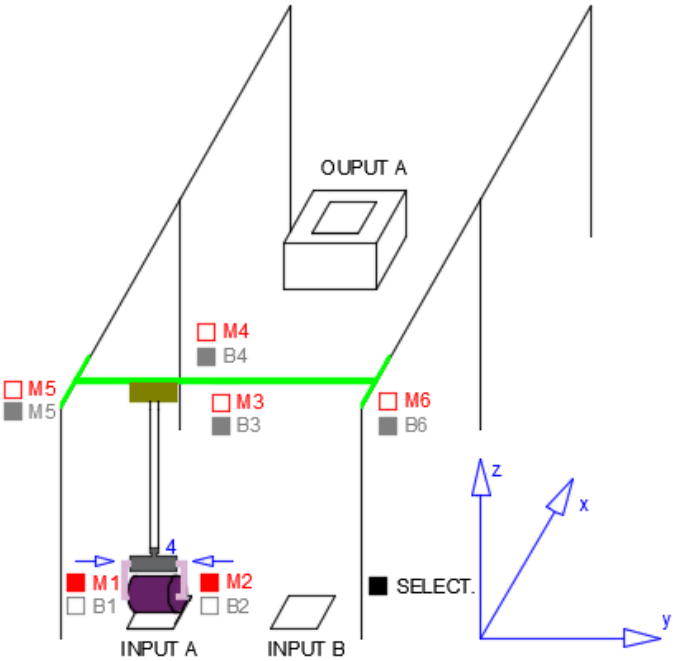


Ilustración 123. Esquema movimiento 4 del PG

Movimiento 5 (IDA):

Este es el movimiento de alzado de la bobina y el tiempo en que el PG soporta una mayor carga. Se eleva hasta el punto más alto que se puede alcanzar. Para ello se activa un solo motor (M3D), mientras el resto permanecen frenados. El encoder E3 pone fin a la marcha del motor M3D.

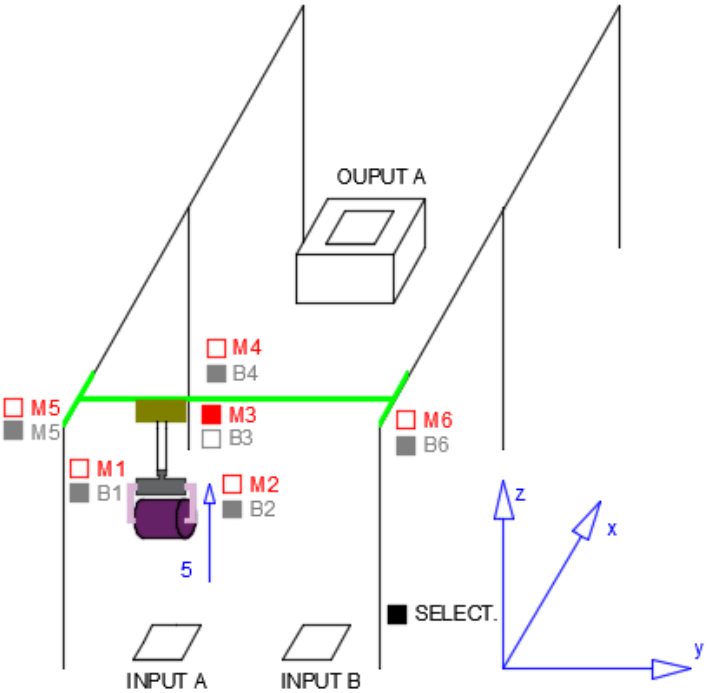


Ilustración 124. Esquema movimiento 5 del PG

Movimiento 6 (IDA):

Es el momento de trasladar el puente grúa en su totalidad. Para ello se activan sincronizados y al unísono dos motores los motores de las vigas testeras (M5D y M6D). Para determinar el punto final solo se emplea un encoder (E5), acoplado al motor M5.

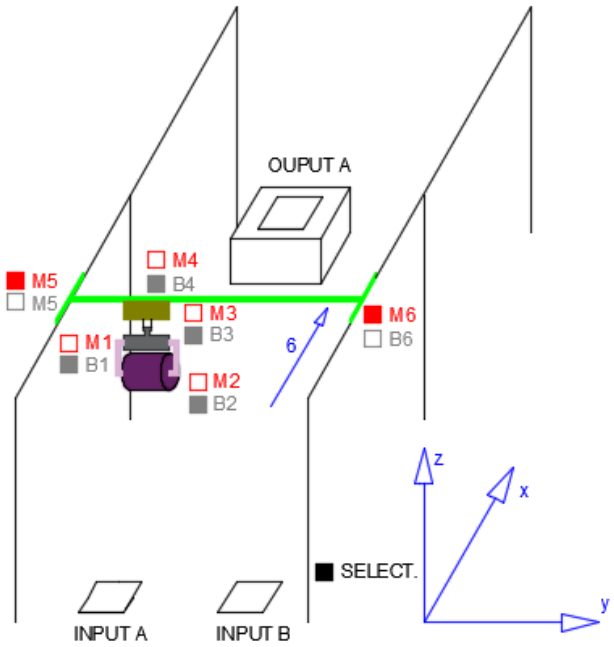


Ilustración 125. Esquema movimiento 6 del PG

Movimiento 7 (IDA):

Ya se encuentra colocada la bobina sobre el eje x. Faltan el z y el y. Se activa el motor del carro (M4D) para desplazar bobina, garra y carro hacia la derecha y colocar la bobina en la coordenada y. El resto de los motores se frenan y es el encoder E4 el que justifica la detención de M4.

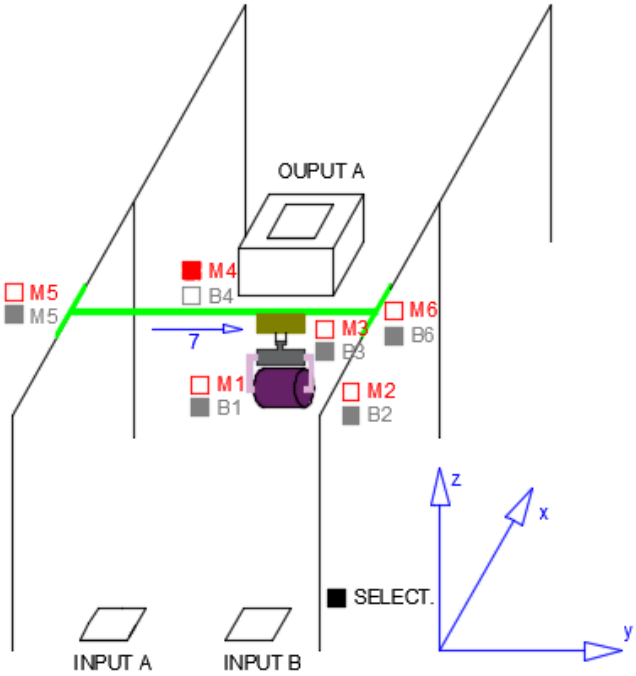


Ilustración 126. Esquema movimiento 7 del PG

Movimiento 8 (IDA):

Se procede al descenso de la carga, es decir, a la deposición de la bobina. Tras este movimiento la bobina quedaría ubicada dentro de las coordenadas de destino (x, y, z). Para este fin, se activa el motor M3I, que desenrolla el cable del tambor. Dependiendo de a qué nivel se deposite, el encoder E3 detendrá antes o después la garra.

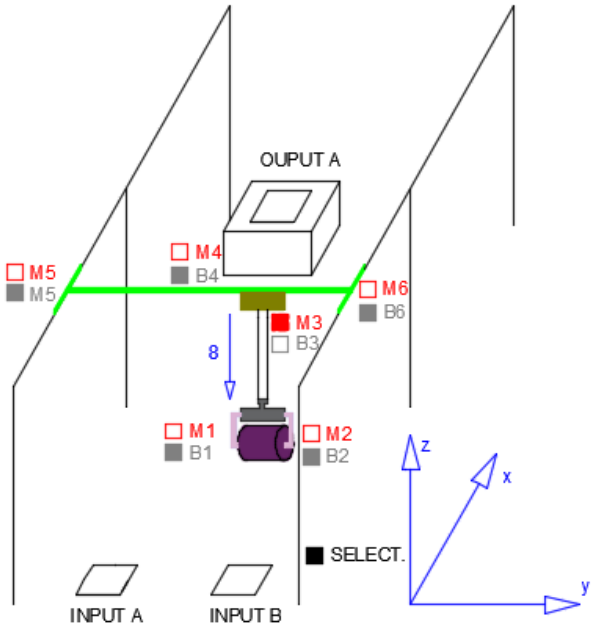


Ilustración 127. Esquema movimiento 8 del PG

Movimiento 9 (VUELTA):

La carga ya se ha depositado y los brazos están libres de peso, es el momento de tomar el recorrido de vuelta. Para ello, inicialmente se desencajonan los brazos de la bobina (M1I y M2D). El resto de los motores permanecen frenados.

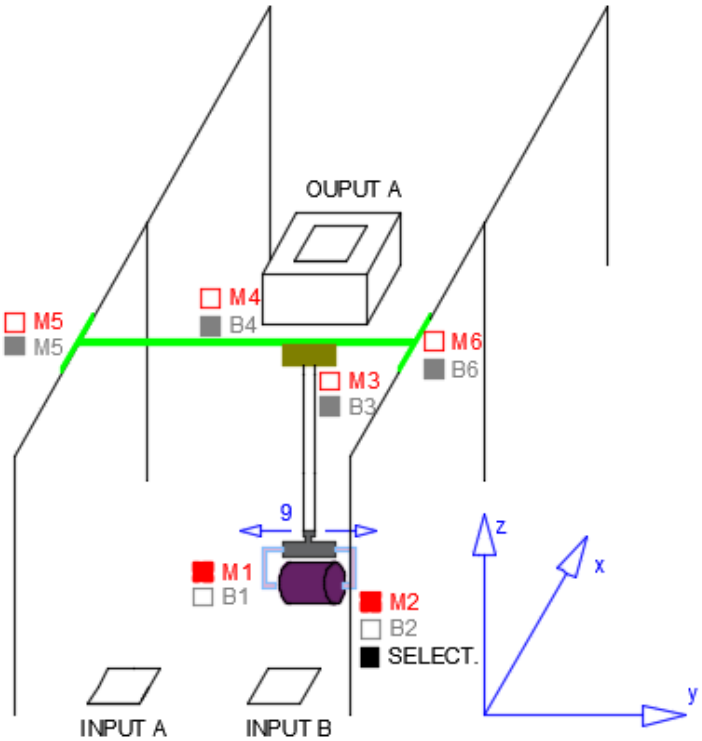


Ilustración 128. Esquema movimiento 9 del PG

Movimiento 10 (VUELTA):

Una vez abierta la garra, se eleva de nuevo hasta su posición más elevada. Esto es posible gracias al motor M3D y el control del encoder E3.

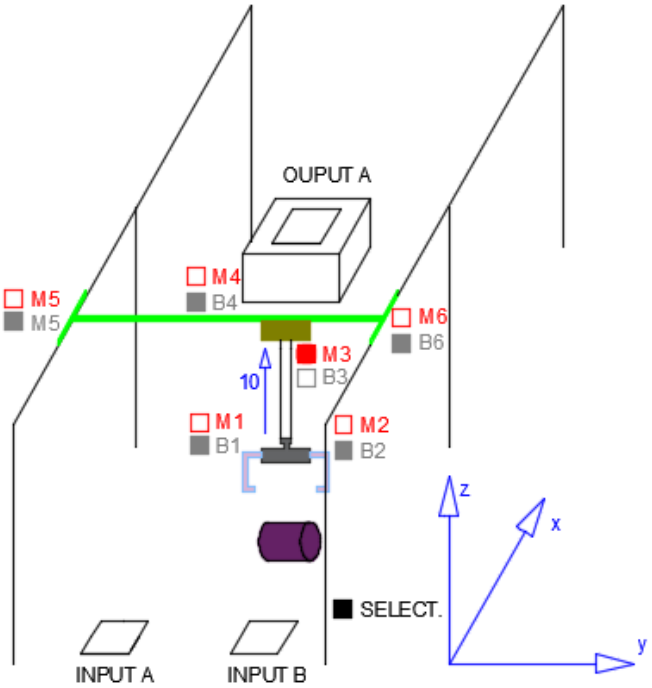


Ilustración 129. Esquema movimiento 10 del PG

Movimiento 11 (VUELTA):

La garra se encuentra en la cúspide, pero para devolverla a su situación original antes se requiere cerrar las garras. Se activan los motores de los brazos (M1D y M2I).

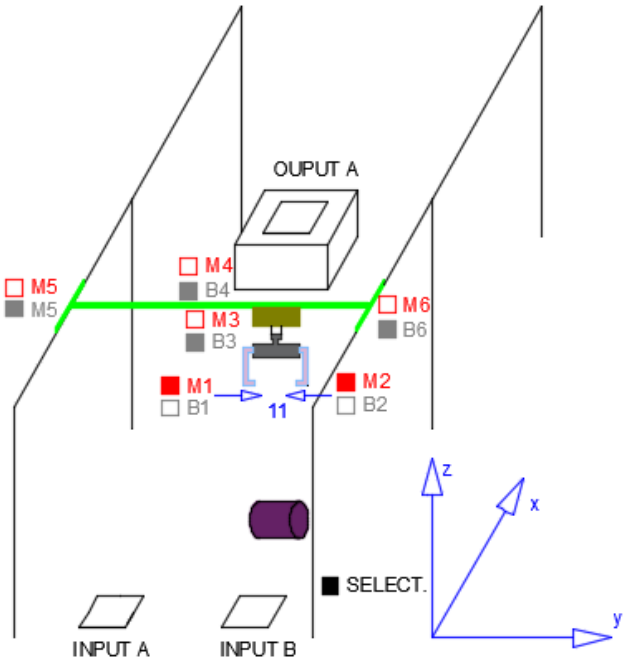


Ilustración 130. Esquema movimiento 11 del PG

Movimiento 12 (VUELTA):

Casi acabando, los motores de las vigas testeras (M5I y M6I) devuelven a la viga principal y con ello a la garra a su posición original sobre el eje x. Los encoders vigilan la calidad del proceso. Aun así, en caso de que pudiera ocurrir algún contratiempo, existen finales de carrera que detienen los motores en el hipotético caso de que el PG se saliera de sus límites de recorrido.

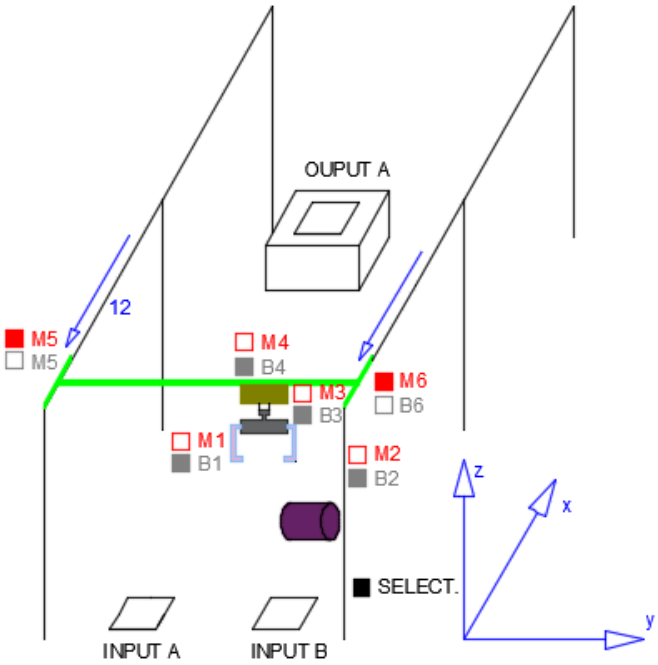


Ilustración 131. Esquema movimiento 12 del PG

Movimiento 13 (VUELTA):

Para finalizar la secuencia, el motor M4I traslada a la garra a sus coordenadas de origen (centro entre los pilares). E3 es el que determina el punto final.

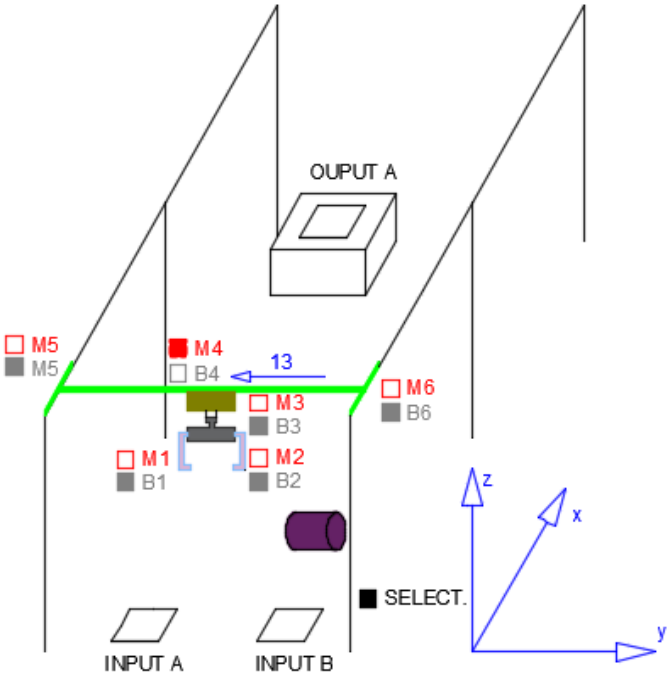


Ilustración 132. Esquema movimiento 13 del PG

11.2 Entradas, salidas y relés internos

Esta es una relación de las entradas, salidas y relés internos utilizados.

11.2.1 Entradas

0.00 Seta Emergencia
0.01 Pulsador MARCHA INPUT A
0.02 Pulsador MARCHA INPUT B
0.03 Pulsador MARCHA OUTPUT A
0.04 Pulsador MARCHA OUTPUT B
0.05 Pulsador RSET
0.06 Selector
0.07 E1+ (Pulso incremental del encoder del motor del brazo izquierdo de la garra)
0.08 E1- (Pulso decremental del encoder del motor del brazo izquierdo de la garra)
0.09 E2+ (Pulso incremental del encoder del motor del brazo derecho de la garra)
0.10 E2- (Pulso decremental del encoder del motor del brazo derecho de la garra)
0.11 E3+ (Pulso incremental del encoder del motor de elevación)
0.12 E3- (Pulso decremental del encoder del motor de elevación)
0.13 E4+ (Pulso incremental del encoder del motor de traslación del carro)
0.14 E4- (Pulso decremental del encoder del motor de traslación del carro)
0.15 E5+ (Pulso incremental del encoder del motor de la viga testera)
0.16 E5- (Pulso decremental del encoder del motor de la viga testera)

11.2.2 Salidas

100.00 M1D (Motor1 Derecha, cierra el brazo izquierdo)
100.01 M1I (Motor1 Izquierda, abre el brazo derecho)
100.02 M2D (Motor2 Derecha, abre el brazo derecho)
100.03 M2I (Motor2 Izquierda, cierra el brazo derecho)
100.04 M3D (Motor3 Derecha, eleva la garra con o sin carga)
100.05 M3I (Motor3 Izquierda, desciende la garra con o sin carga)
100.06 M4D (Motor4 Derecha, mueve el carro hacia la derecha)
100.07 M4I (Motor4 Izquierda, mueve el carro hacia la izquierda)
100.08 M5D (Motor5 Derecha, mueve el PG en profundidad, hacia la zona de OUTPUT)
100.09 M5I (Motor5 Izquierda, mueve el PG en profundidad, hacia la zona de INTPUT)
100.10 M6D (Motor6 Derecha, mueve el PG en profundidad, hacia la zona de OUTPUT)
100.11 M6I (Motor6 Izquierda, mueve el PG en profundidad, hacia la zona de INTPUT)
10.01 B1 (Freno del Motor1)
10.02 B2 (Freno del Motor2)

10.03 B3 (Freno del Motor3)
10.04 B4 (Freno del Motor4)
10.05 B5 (Freno del Motor5)
10.06 B6 (Freno del Motor6)
10.07 L1 Secuencia INPUT A en Servicio
10.08 L1 Secuencia INPUT B en Servicio
10.09 L1 Secuencia OUTPUT A en Servicio
10.10 L1 Secuencia OUTPUT B en Servicio
10.11 L2 Emergencia

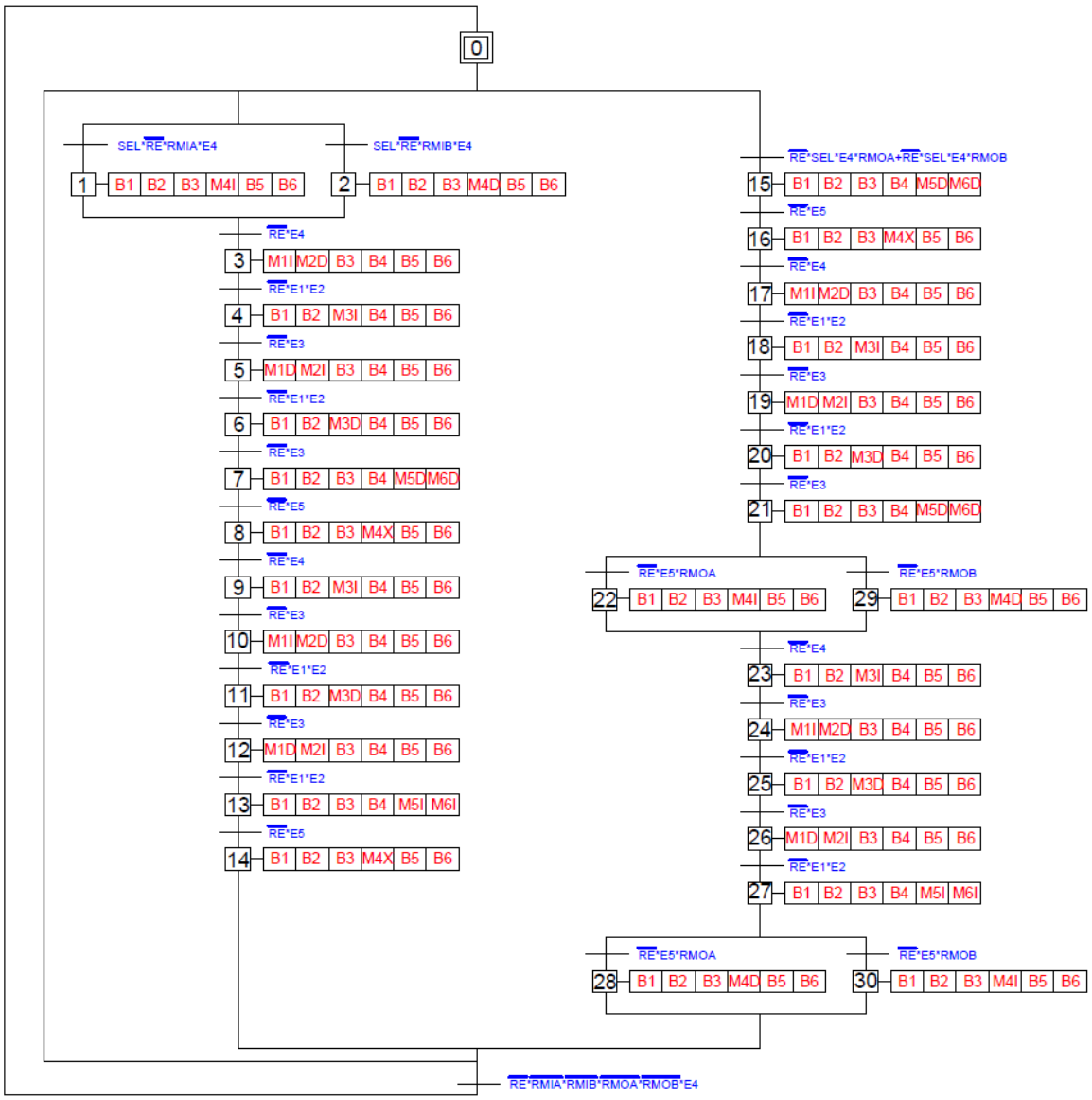
11.2.3 Relés internos

14.00 RMIA (Relé Marcha Operativo)
14.01 RMIB (Relé Marcha Operativo)
14.02 RMOA (Relé Marcha Operativo)
14.03 RMOB (Relé Marcha Operativo)
14.04 RE (Relé Emergencia)
15.00 ETAPA 0
15.01 ETAPA 1
15.02 ETAPA 2
15.03 ETAPA 3
15.04 ETAPA 4
15.05 ETAPA 5
15.06 ETAPA 6
15.07 ETAPA 7
15.08 ETAPA 8
15.09 ETAPA 9
15.10 ETAPA 10
15.11 ETAPA 11
15.12 ETAPA 12
15.13 ETAPA 13
15.14 ETAPA 14
15.15 ETAPA 15
15.16 ETAPA 16
15.17 ETAPA 17
15.18 ETAPA 18
15.19 ETAPA 19
15.20 ETAPA 20
15.21 ETAPA 21
15.22 ETAPA 22
15.23 ETAPA 23
15.24 ETAPA 24
15.25 ETAPA 25
15.26 ETAPA 26
15.27 ETAPA 27
15.28 ETAPA 28
15.29 ETAPA 29
15.30 ETAPA 30

11.3 Grafcet

En este esquema se especifican las etapas en que está dividido el Grafcet y las acciones a realizar en cada etapa.

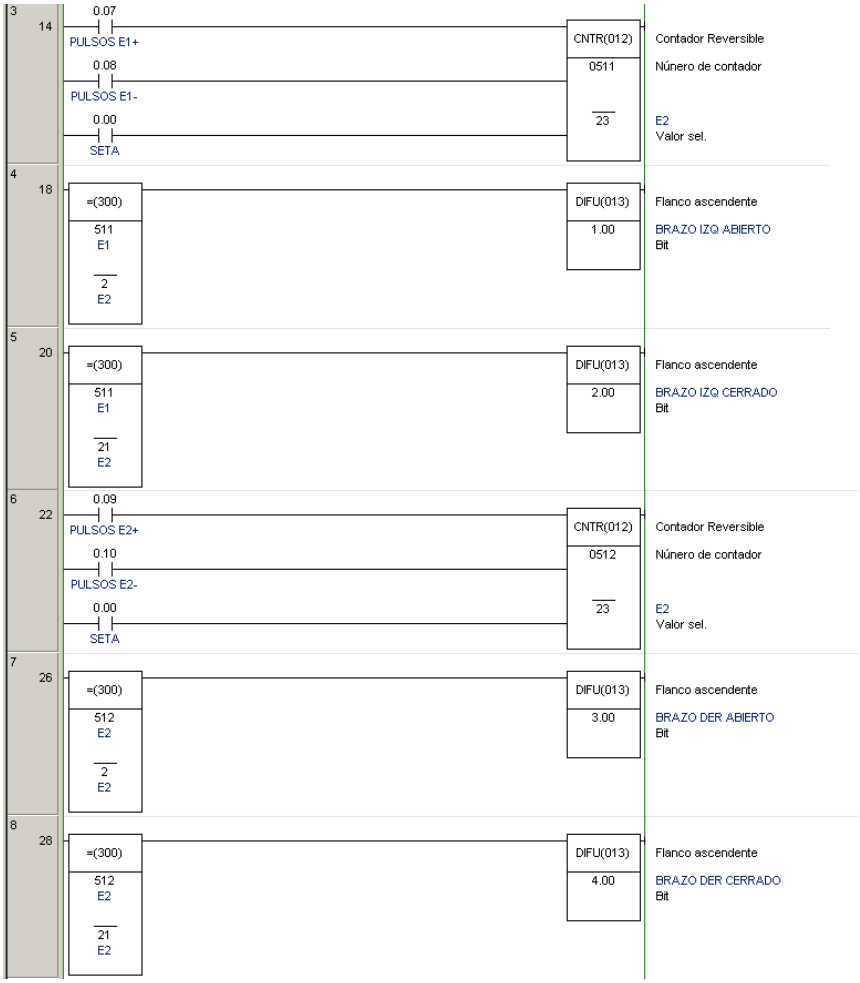
También se especifican las condiciones de transición entre las etapas.

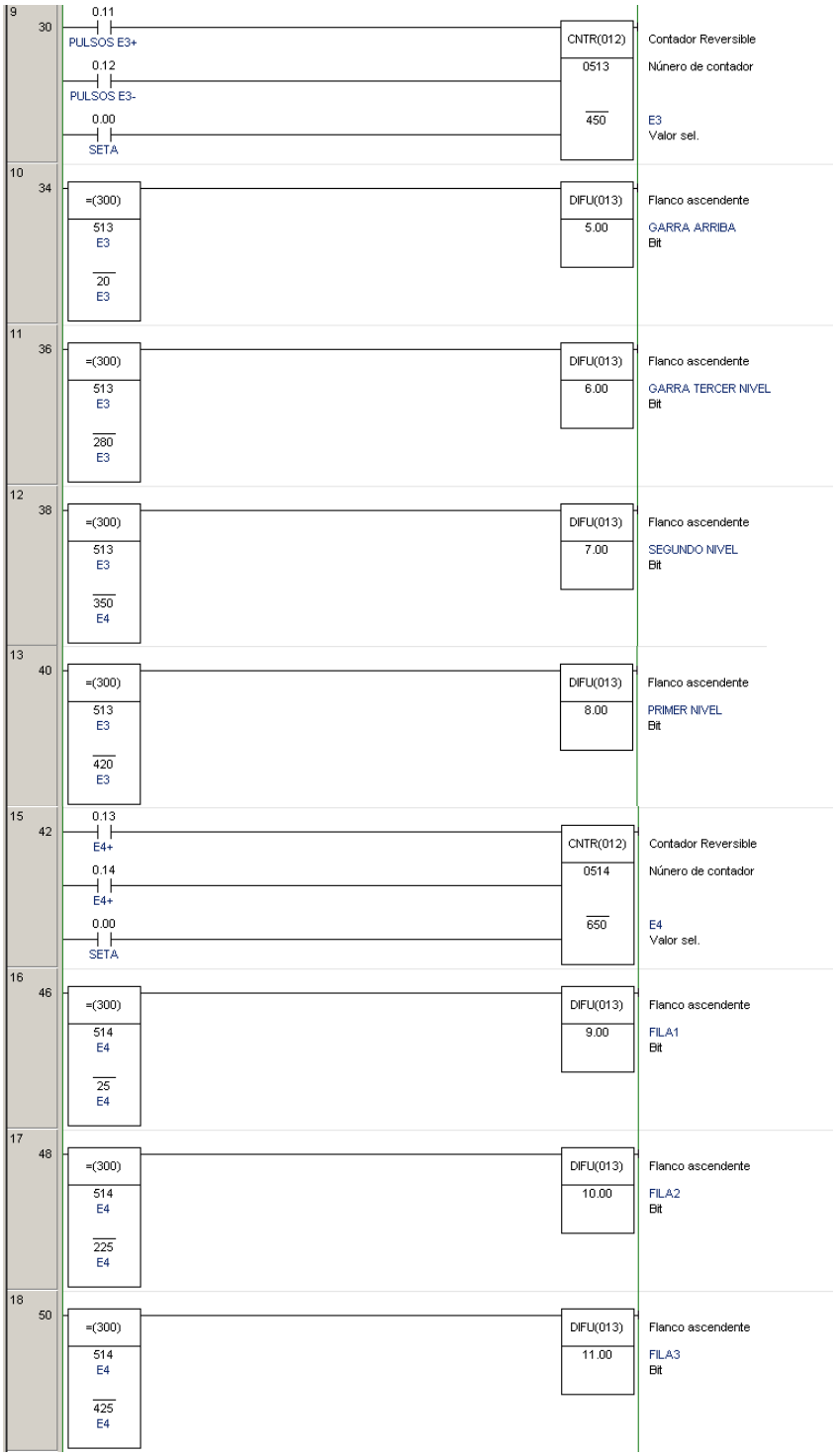


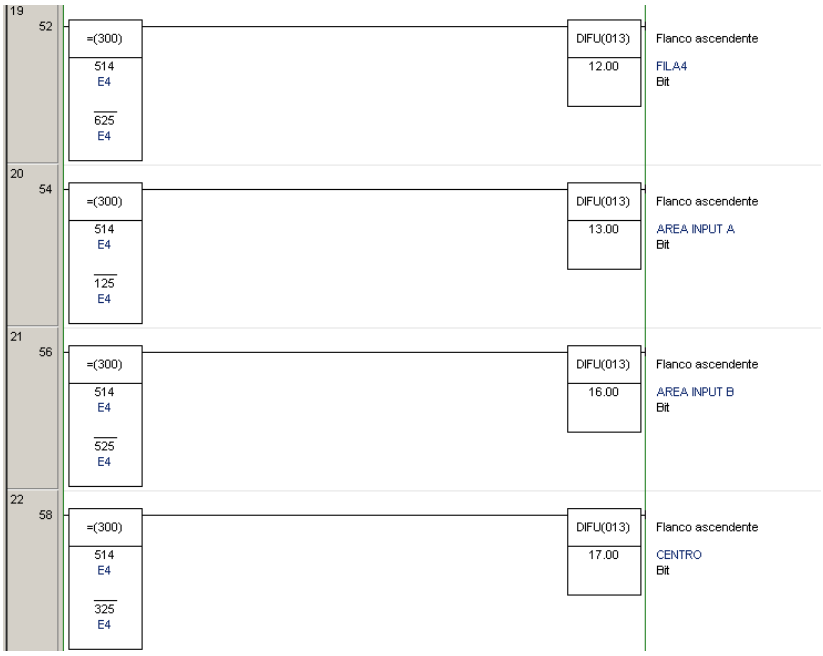
11.4 Programación en CX-PROGRAMMER

11.4.1 Arranque de las secuencias

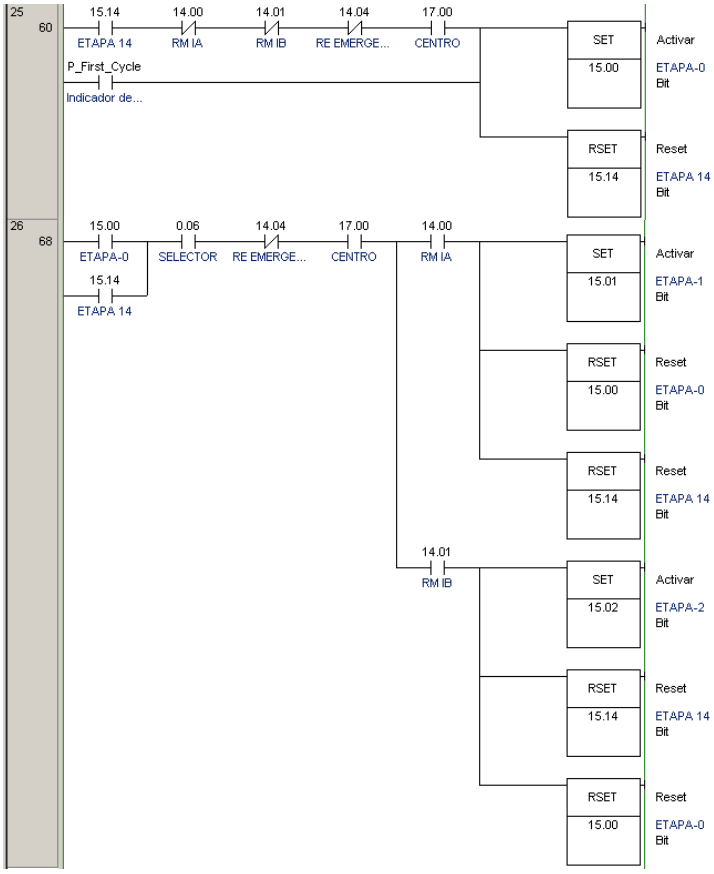
11.4.2 Contadores simulando encoders

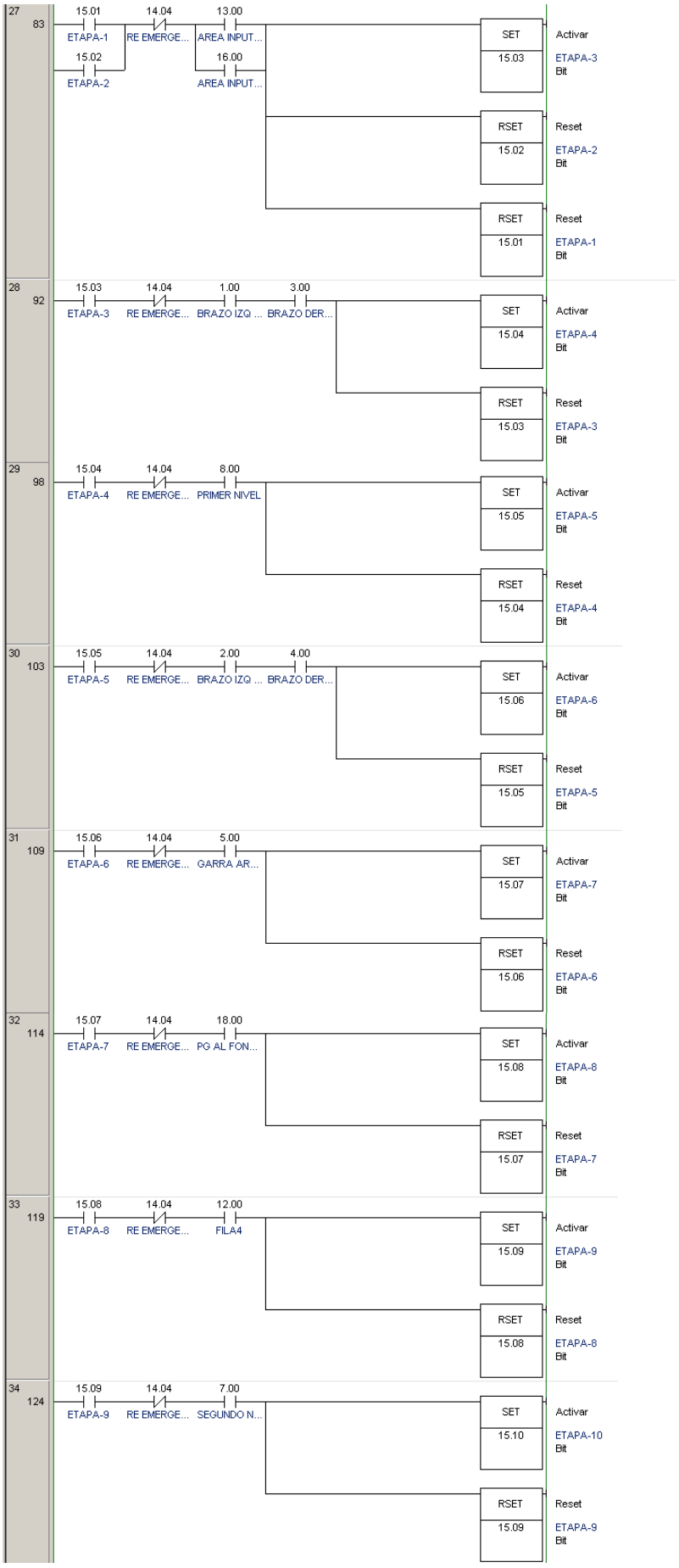


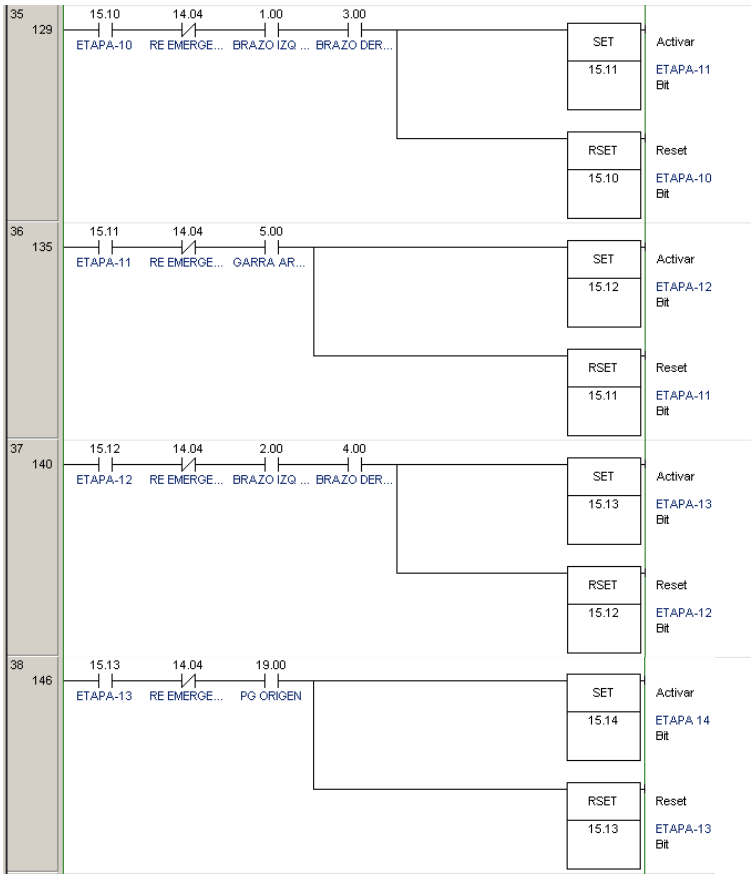

9
30
0.11
PULSOS E3+
0.12
PULSOS E3-
0.00
SETA
CNTR(012)
0513
450
Contador Reversible
Núnero de contador
E3
Valor sel.
10
34
=(300)
513
E3
20
E3
DIFU(013)
5.00
Flanco ascendente
GARRA ARRIBA
Bit
11
36
=(300)
513
E3
280
E3
DIFU(013)
6.00
Flanco ascendente
GARRA TERCER NIVEL
Bit
12
38
=(300)
513
E3
350
E4
DIFU(013)
7.00
Flanco ascendente
SEGUNDO NIVEL
Bit
13
40
=(300)
513
E3
420
E3
DIFU(013)
8.00
Flanco ascendente
PRIMER NIVEL
Bit
15
42
0.13
E4+
0.14
E4+
0.00
SETA
CNTR(012)
0514
650
Contador Reversible
Núnero de contador
E4
Valor sel.
16
46
=(300)
514
E4
25
E4
DIFU(013)
9.00
Flanco ascendente
FILA1
Bit
17
48
=(300)
514
E4
225
E4
DIFU(013)
10.00
Flanco ascendente
FILA2
Bit
18
50
=(300)
514
E4
425
E4
DIFU(013)
11.00
Flanco ascendente
FILA3
Bit



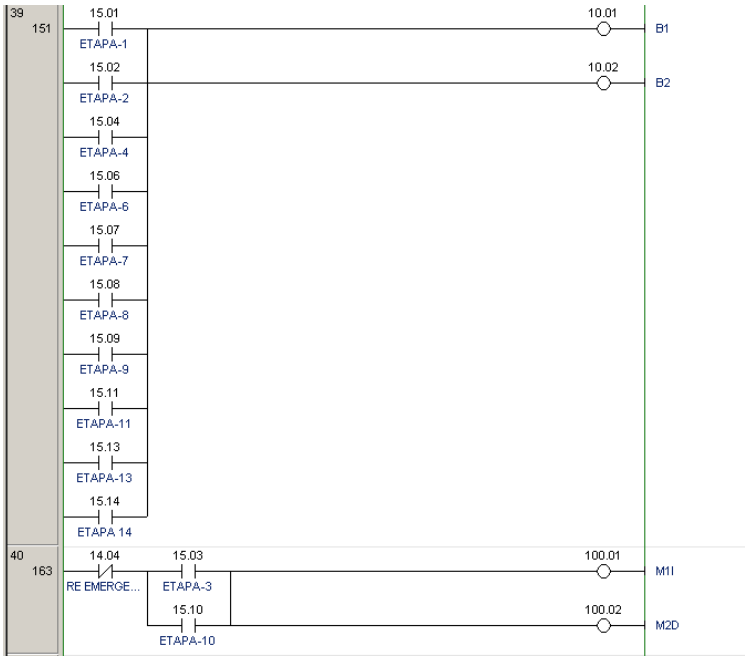
11.4.3 Transición entre etapas

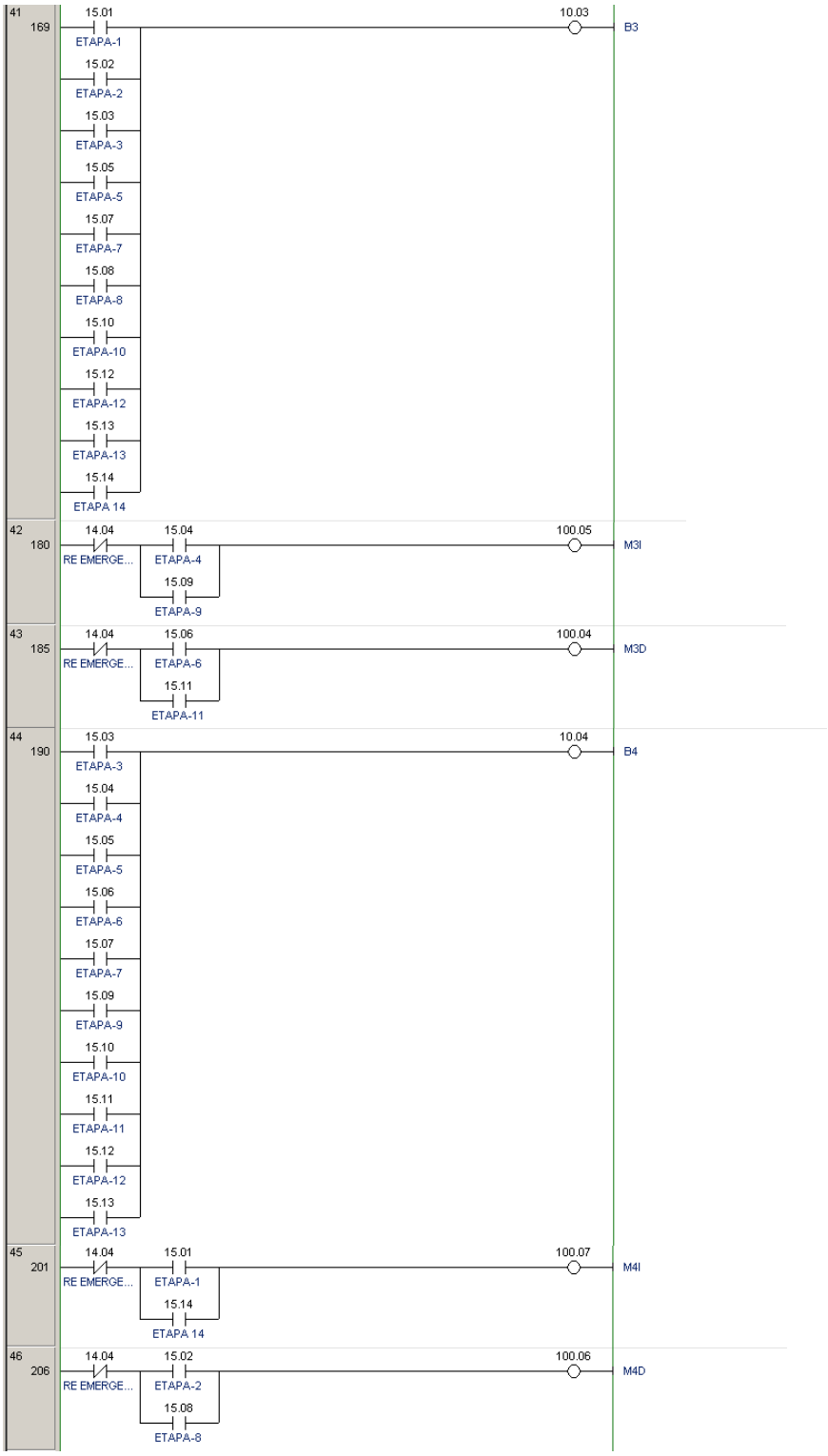


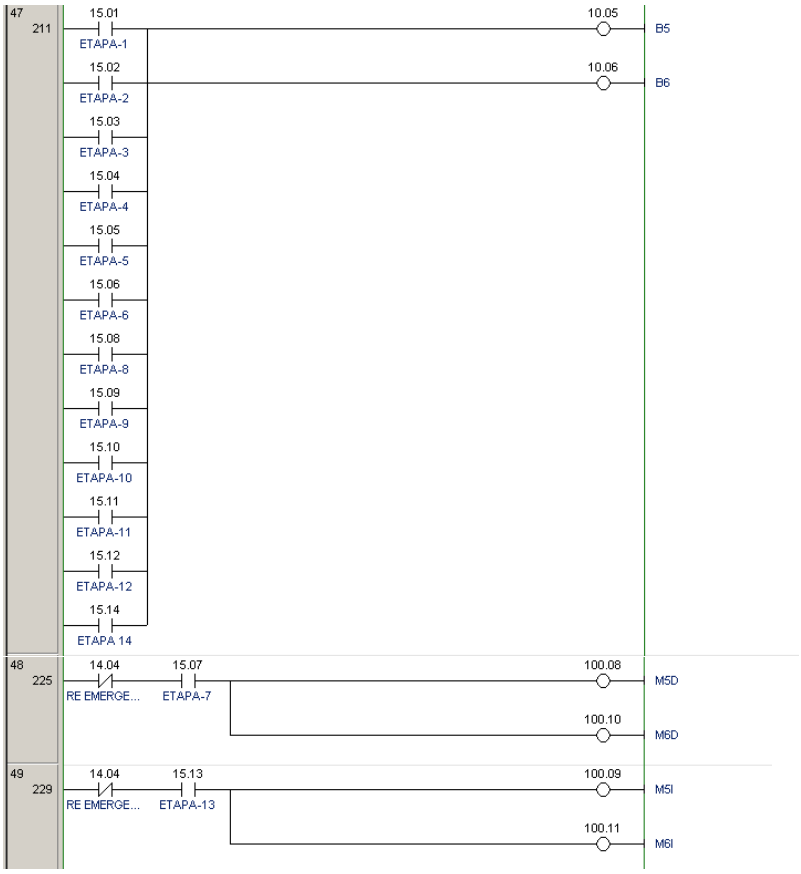

27
83
15.01
ETAPA-1
14.04
RE EMERGE...
13.00
AREA INPUT...
15.02
ETAPA-2
16.00
AREA INPUT...
SET
15.03
Activar
ETAPA-3
Bit
RSET
15.02
Reset
ETAPA-2
Bit
RSET
15.01
Reset
ETAPA-1
Bit
28
92
15.03
ETAPA-3
14.04
RE EMERGE...
1.00
BRAZO IZQ ...
3.00
BRAZO DER...
SET
15.04
Activar
ETAPA-4
Bit
RSET
15.03
Reset
ETAPA-3
Bit
29
98
15.04
ETAPA-4
14.04
RE EMERGE...
8.00
PRIMER NIVEL
SET
15.05
Activar
ETAPA-5
Bit
RSET
15.04
Reset
ETAPA-4
Bit
30
103
15.05
ETAPA-5
14.04
RE EMERGE...
2.00
BRAZO IZQ ...
4.00
BRAZO DER...
SET
15.06
Activar
ETAPA-6
Bit
RSET
15.05
Reset
ETAPA-5
Bit
31
109
15.06
ETAPA-6
14.04
RE EMERGE...
5.00
GARRA AR...
SET
15.07
Activar
ETAPA-7
Bit
RSET
15.06
Reset
ETAPA-6
Bit
32
114
15.07
ETAPA-7
14.04
RE EMERGE...
18.00
PG AL FON...
SET
15.08
Activar
ETAPA-8
Bit
RSET
15.07
Reset
ETAPA-7
Bit
33
119
15.08
ETAPA-8
14.04
RE EMERGE...
12.00
FILA4
SET
15.09
Activar
ETAPA-9
Bit
RSET
15.08
Reset
ETAPA-8
Bit
34
124
15.09
ETAPA-9
14.04
RE EMERGE...
7.00
SEGUNDO N...
SET
15.10
Activar
ETAPA-10
Bit
RSET
15.09
Reset
ETAPA-9
Bit



11.4.4 Activación de motores y frenos




41
169
15.01
ETAPA-1
15.02
ETAPA-2
15.03
ETAPA-3
15.05
ETAPA-5
15.07
ETAPA-7
15.08
ETAPA-8
15.10
ETAPA-10
15.12
ETAPA-12
15.13
ETAPA-13
15.14
ETAPA 14
10.03
B3
42
180
14.04
RE EMERGE...
15.04
ETAPA-4
15.09
ETAPA-9
100.05
M3I
43
185
14.04
RE EMERGE...
15.06
ETAPA-6
15.11
ETAPA-11
100.04
M3D
44
190
15.03
ETAPA-3
15.04
ETAPA-4
15.05
ETAPA-5
15.06
ETAPA-6
15.07
ETAPA-7
15.09
ETAPA-9
15.10
ETAPA-10
15.11
ETAPA-11
15.12
ETAPA-12
15.13
ETAPA-13
10.04
B4
45
201
14.04
RE EMERGE...
15.01
ETAPA-1
15.14
ETAPA 14
100.07
M4I
46
206
14.04
RE EMERGE...
15.02
ETAPA-2
15.08
ETAPA-8
100.06
M4D



11.4.5 Encendido de luces

PLANOS

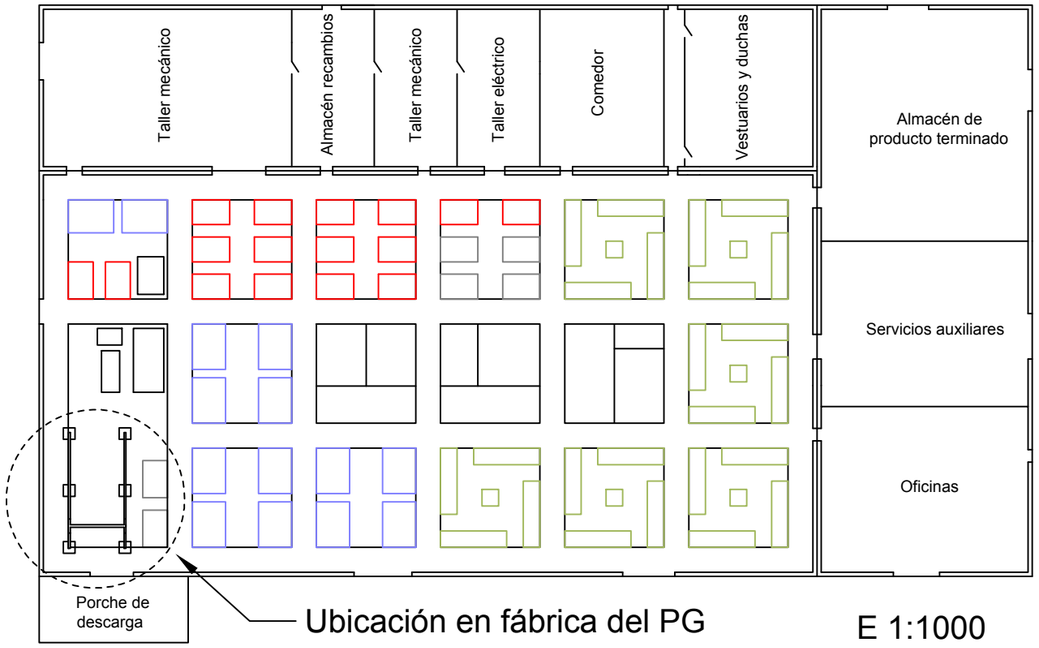
Puente grúa automatizado

803-G

Autor: Manuel Marín Uyarra

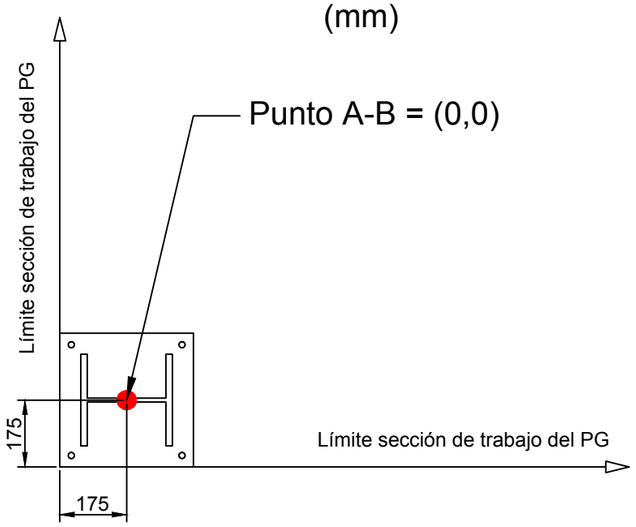
ÍNDICE DE CONTENIDOS

PLANO PLANTA INDUSTRIAL

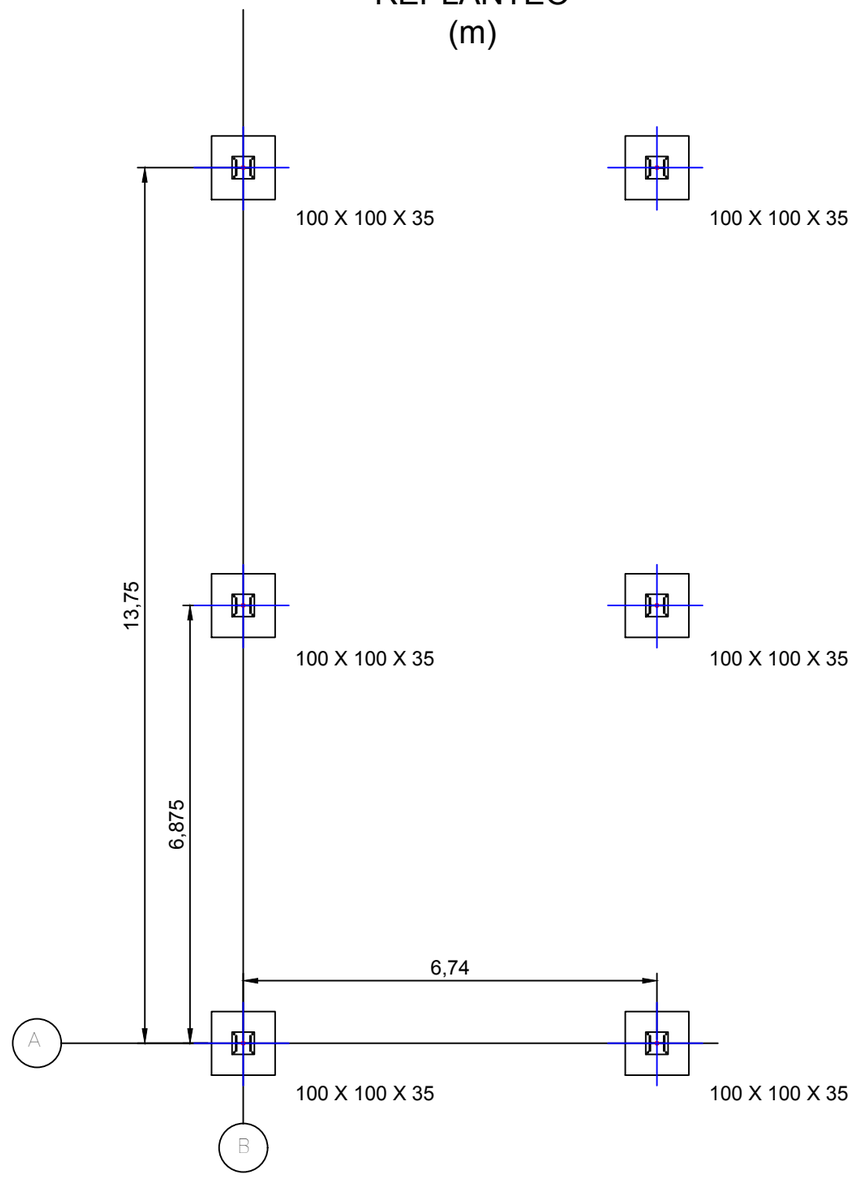


E 1:1000

UBICACIÓN ORIGEN DE COORDENADAS (mm)



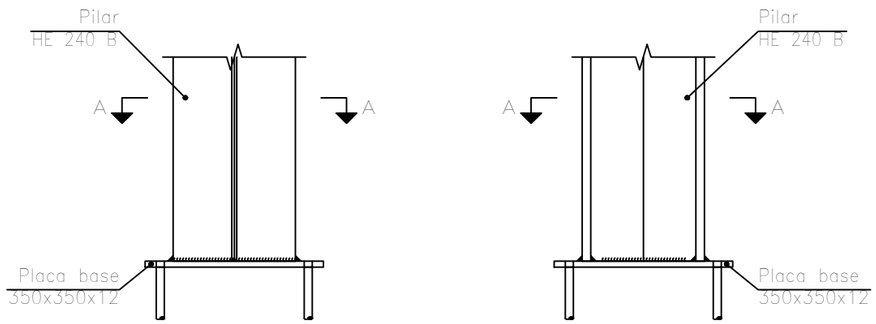
REPLANTEO (m)



	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN			
Comprobado					
Id.s.normas					

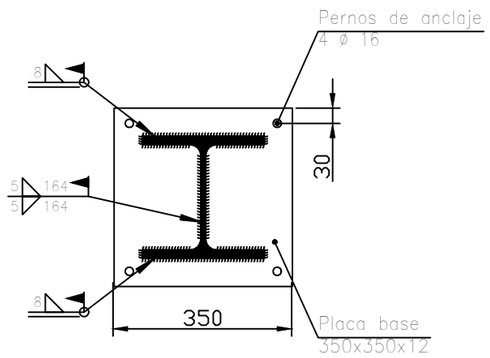
Escalas: 1:100	UBICACIÓN Y REPLANTEO	Número: 1
PROYECCIÓN	PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO	REFERENCIA: PG-01-00
		Sustituye a:
		Sustituido por:

Unión 2

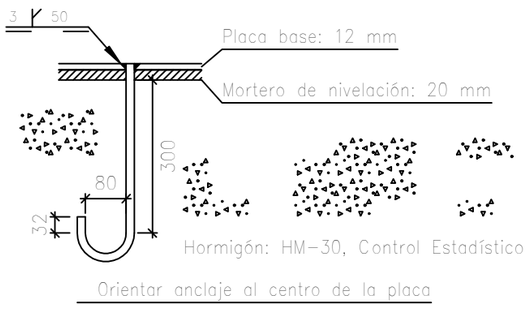


Alzado

Vista lateral

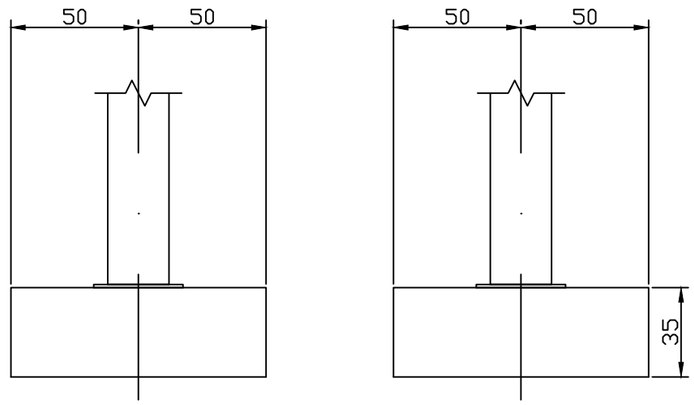


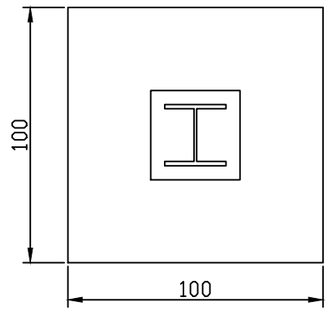
Sección A – A



Anclaje de los pernos Ø 16,
B 400 S, Ys = 1.15 (corrugado)

Escala 1:10

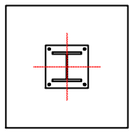




	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN			
Comprobado					
Id.s.normas					

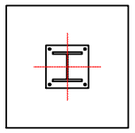
Escalas: 1:20	CIMENTACIÓN 1	Número: 2
PROYECCIÓN	PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO	REFERENCIA: PG-02-01
		Sustituye a:
		Sustituido por:

100 × 100 × 35



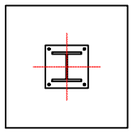
HE 240 B

100 × 100 × 35



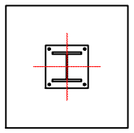
HE 240 B

100 × 100 × 35



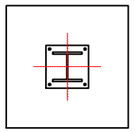
HE 240 B

100 × 100 × 35



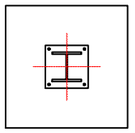
HE 240 B

100 × 100 × 35



HE 240 B

100 × 100 × 35



HE 240 B

Cuadro de arranques		
Referencias	Pernos de Placas de Anclaje	Dimensión de Placas de Anclaje
Todas las zapatas (6)	4 Pernos ø 16	Placa base (350x350x12)

	FECHA	NOMBRE
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN
Comprobado		
Id.s.normas		

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Escalas: 1:50

PROYECCIÓN

CIMENTACIÓN 2

PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO

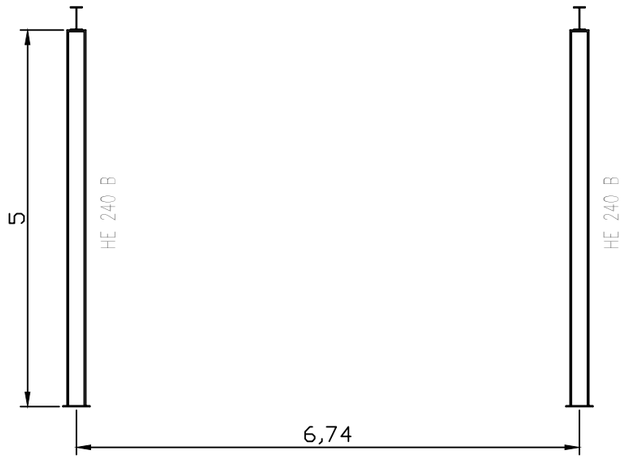
Número: 3

REFERENCIA: PG-02-02

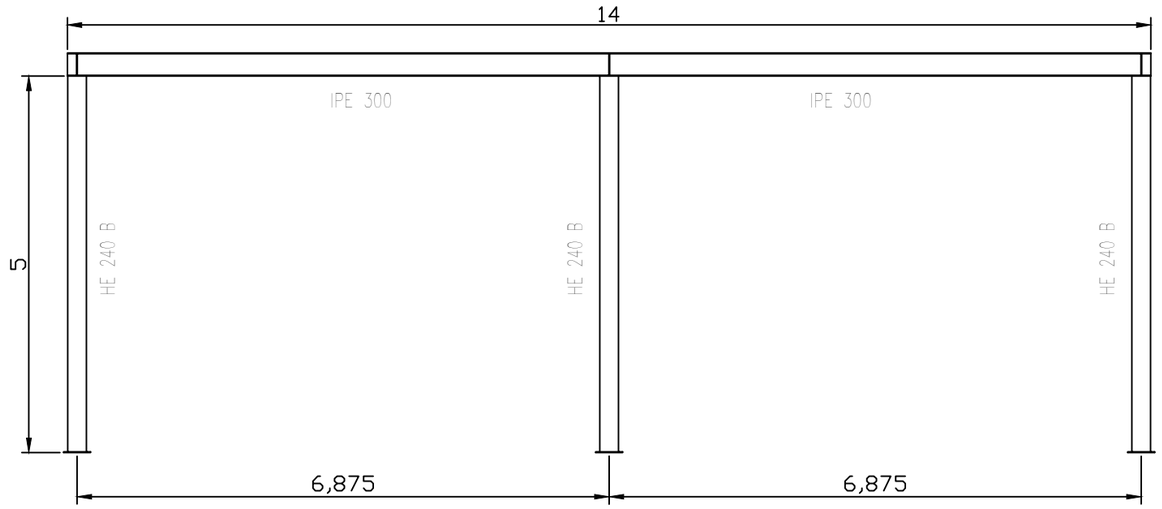
Sustituye a:

Sustituido por:

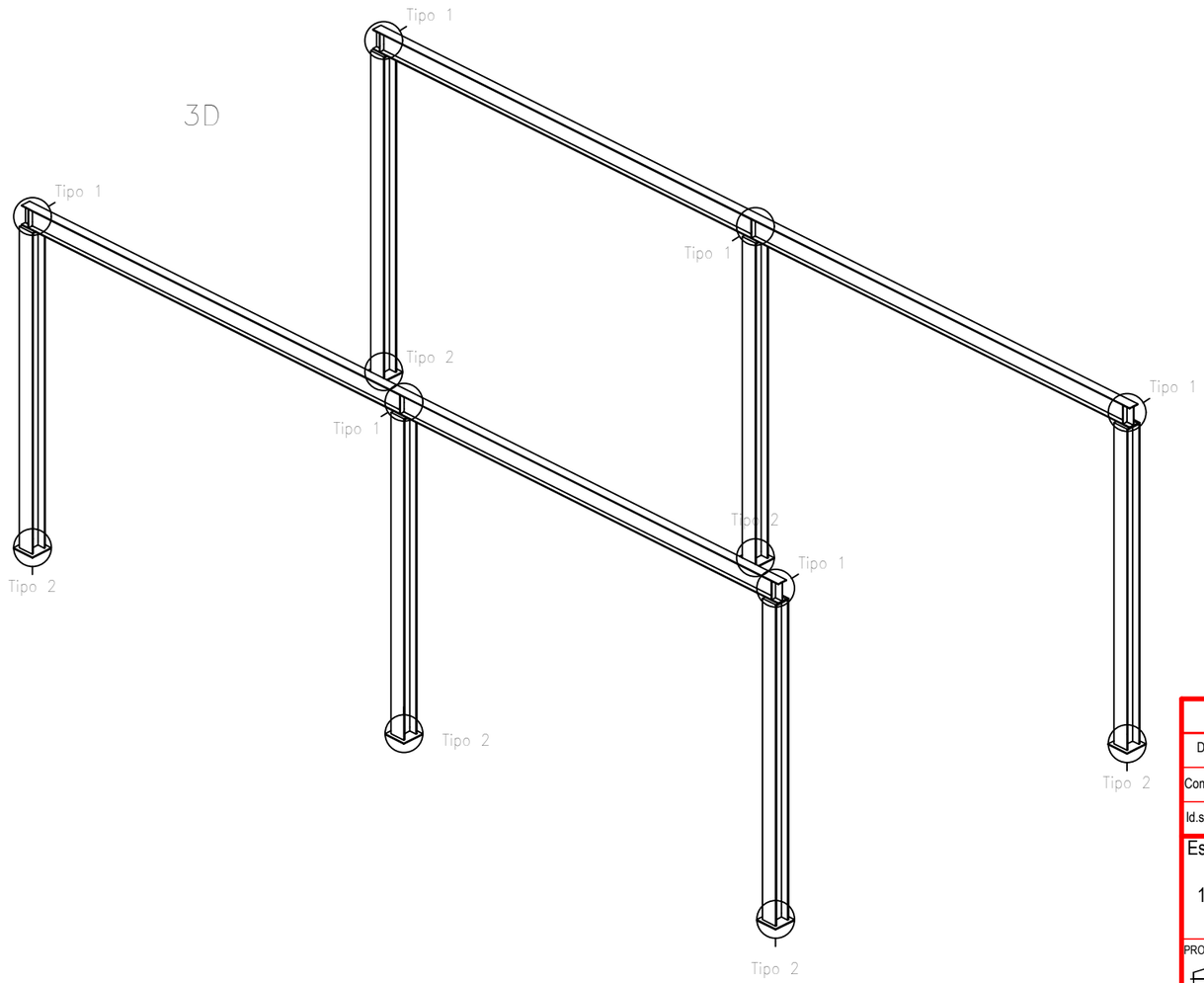
2D: frontal



2D: lateral



3D



Norma de acero laminado: CTE DB SE-A
Acero laminado: S275
Escala: 1:100

La estructura en 3D muestra los dos tipos de uniones que existen dentro de la estructura:

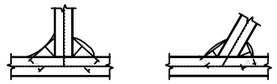
Tipo 1: Soldadura entre perfles de acero
Tipo 2: Anclaje del pilar a la zapata

	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN			
Comprobado					
Id.s.normas					

Escalas: 1:100	ESTRUCTURA	Número: 4
PROYECCIÓN	PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO	REFERENCIA: PG-03-00
		Sustituye a:
		Sustituido por:

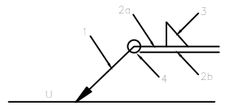
REFERENCIAS Y SIMBOLOGÍA

a[mm]: Espesor de garganta del cordón de soldadura en ángulo, que será la altura mayor, medida perpendicularmente a la cara exterior, entre todos los triángulos que se pueden inscribir entre las superficies de las piezas que hayan alcanzado la fusión y la superficie exterior de las soldaduras. 8.6.2.a CTE DB SE-A



L[mm]: longitud efectiva del cordón de soldadura

MÉTODO DE REPRESENTACIÓN DE SOLDADURAS



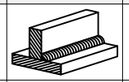
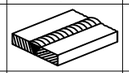
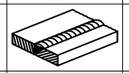
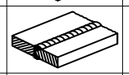
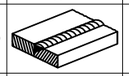
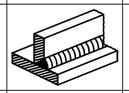
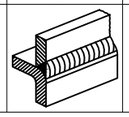
Referencias:
1: línea de la flecha
2a: línea de referencia (línea continua)
2b: línea de identificación (línea a trazos)
3: símbolo de soldadura
4: indicaciones complementarias
U: Unión

Referencias 1, 2a y 2b

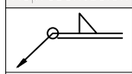
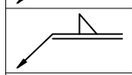
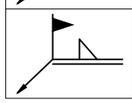
El cordón de soldadura que se detalla se encuentra en el lado de la flecha.

El cordón de soldadura que se detalla se encuentra en el lado opuesto al de la flecha.

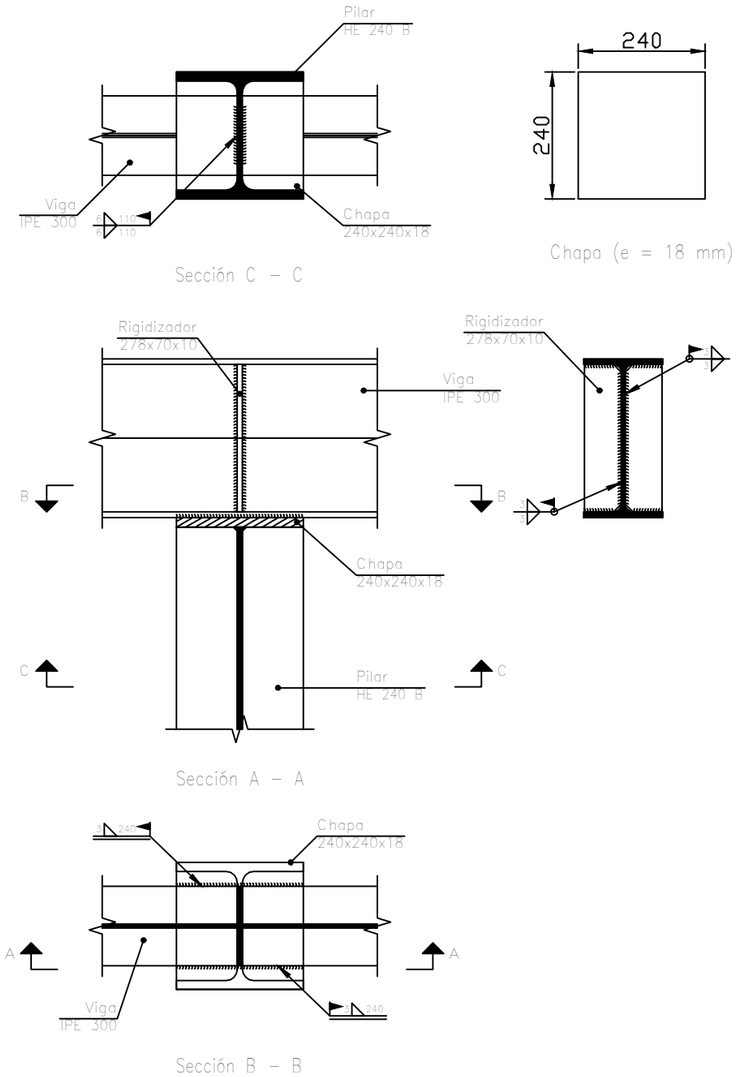
Referencia 3

Designación	Ilustración	Símbolo
Soldadura en ángulo		
Soldadura a tope en 'V' simple (con chaflán)		
Soldadura a tope en bisel simple		
Soldadura a tope en bisel doble		
Soldadura a tope en bisel simple con talón de raíz amplio		
Soldadura combinada a tope en bisel simple y en ángulo		
Soldadura a tope en bisel simple con lado curvo		

Referencia 4

Representación	Descripción
	Soldadura realizada en todo el perímetro de la pieza
	Soldadura realizada en taller
	Soldadura realizada en el lugar de montaje

Tipo 1



Escala 1:10

	FECHA	NOMBRE
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN
Comprobado		
Id.s.normas		

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Escalas: 1:10

PROYECCIÓN

SOLDADURA ENTRE PERFILES

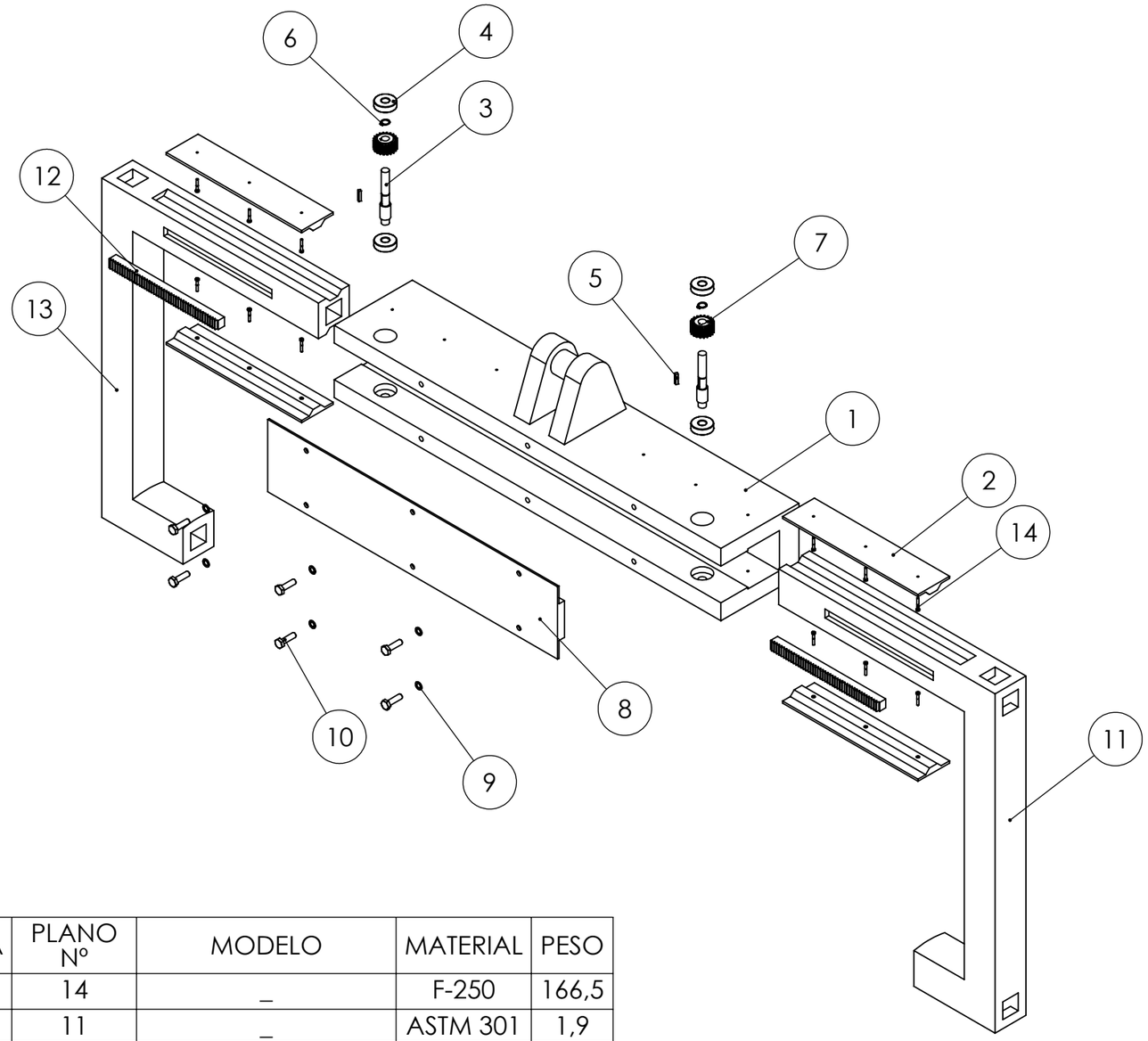
PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO

Número: 5

REFERENCIA: PG-04-00

Sustituye a:

Sustituido por:



CANTIDAD	DENOMINACIÓN	MARCA	PLANO Nº	MODELO	MATERIAL	PESO
1	Bloque principal	1	14	_	F-250	166,5
4	Deslizadera	2	11	_	ASTM 301	1,9
2	Eje	3	12	_	1045 N	0,2
4	Rodamiento	4	_	6302	Acero	0,15
2	Chaveta	5	_	5x5 h9 DIN 6886	Acero	_
2	Anillo de seguridad	6	_	15x1DIN 471	Acero	_
2	Piñón	7	_	A1-327-20-25-2	SAE 1050	0,2
1	Carcasa	8	13	_	F-250	10,5
6	Arandela	9	_	10x16 DIN 988	Acero	_
6	Tornillo carcasa	10	_	M10x1.25x35 DIN 933	Acero	_
1	Brazo izquierdo	11	10	_	SAE 1035	48,27
2	Cremallera	12	_	A1-57-20-20-500	F-114	1,02
1	Brazo derecho	13	9	_	SAE 1035	48,27
12	Tornillo deslizadera	14	_	M4x25 DIN 6912	Acero	_

	FECHA	NOMBRE
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN
Comprobado		
Id.s.normas		

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Escalas: 1:10

PROYECCIÓN

GARRA EXPLOSIONADA

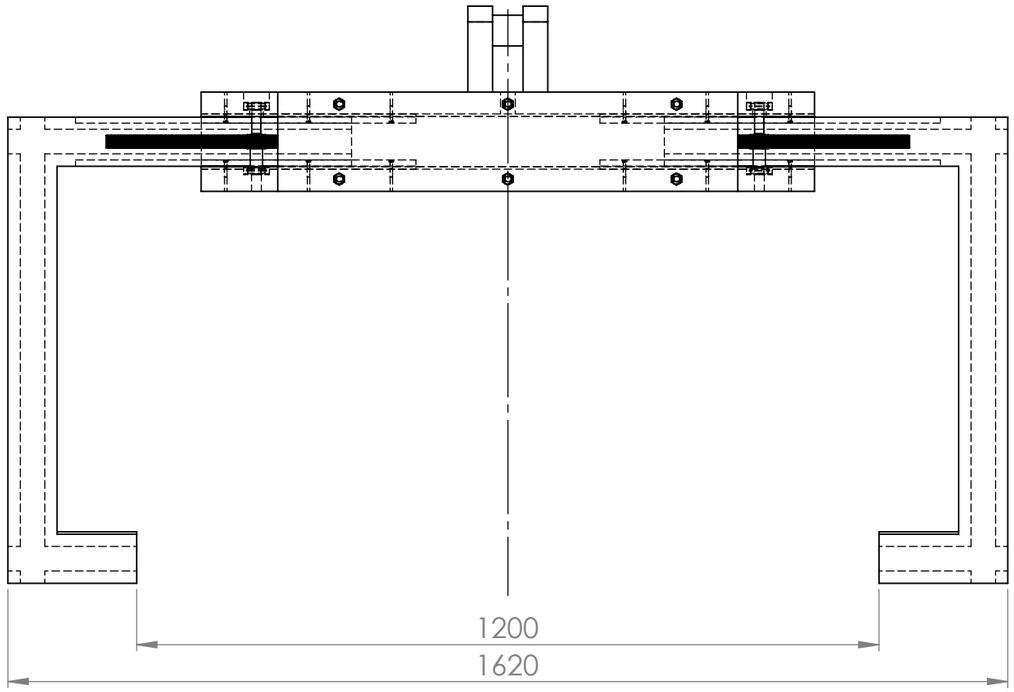
PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO

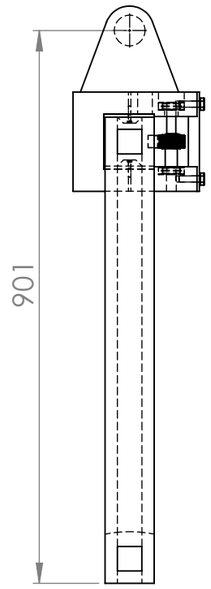
Número: 6

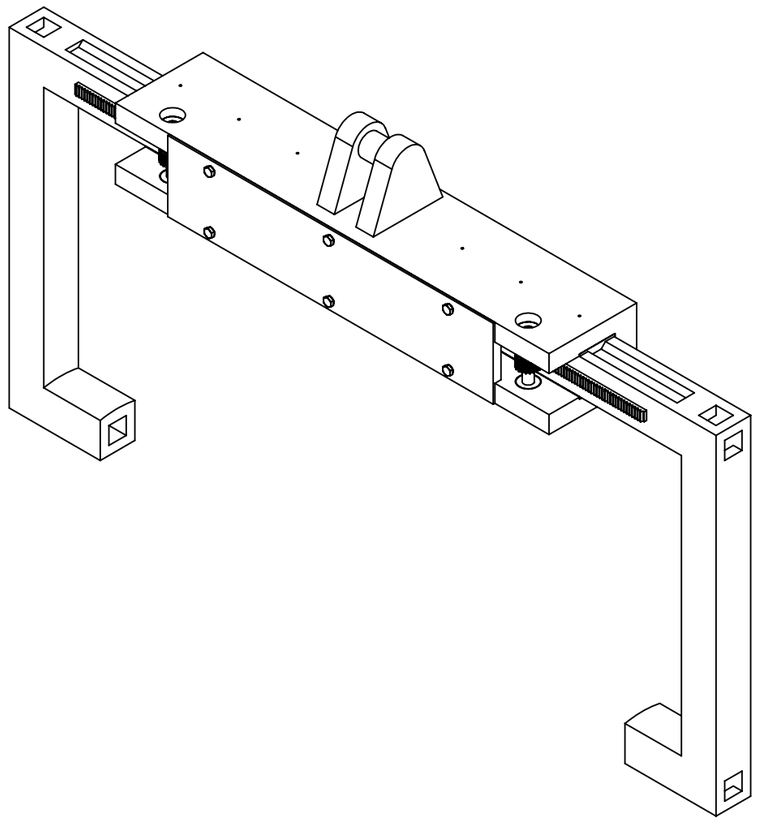
REFERENCIA: PG-05-00

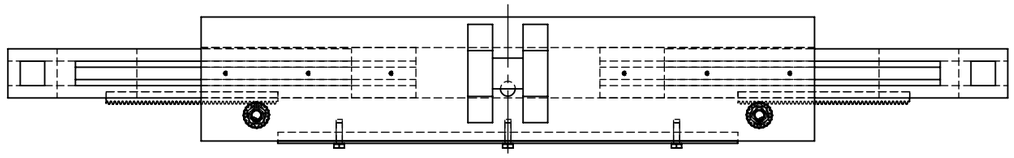
Sustituye a:

Sustituido por:



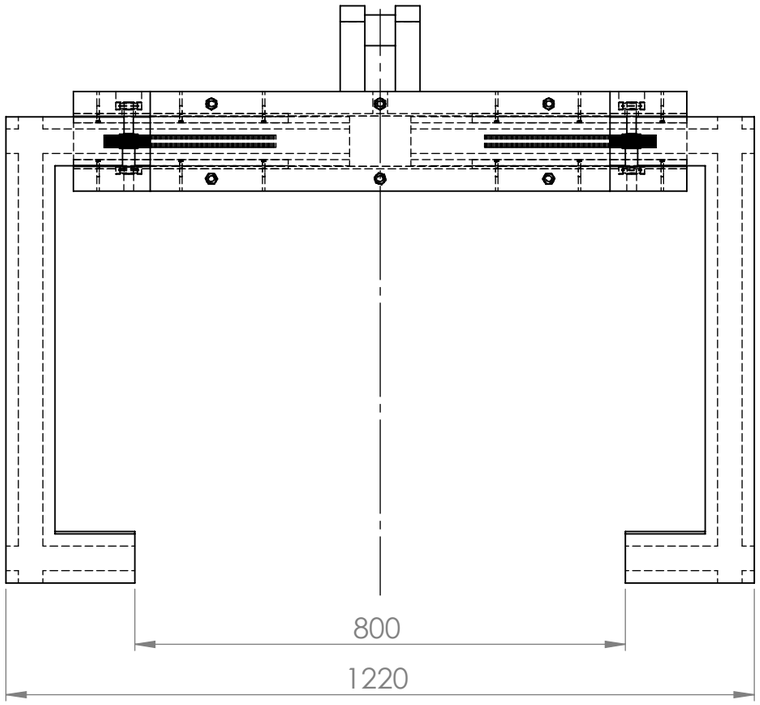


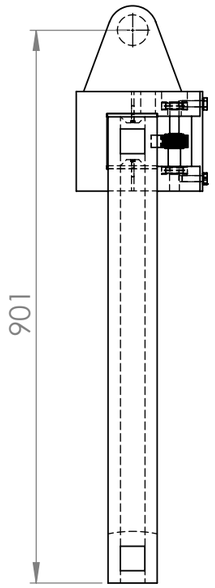


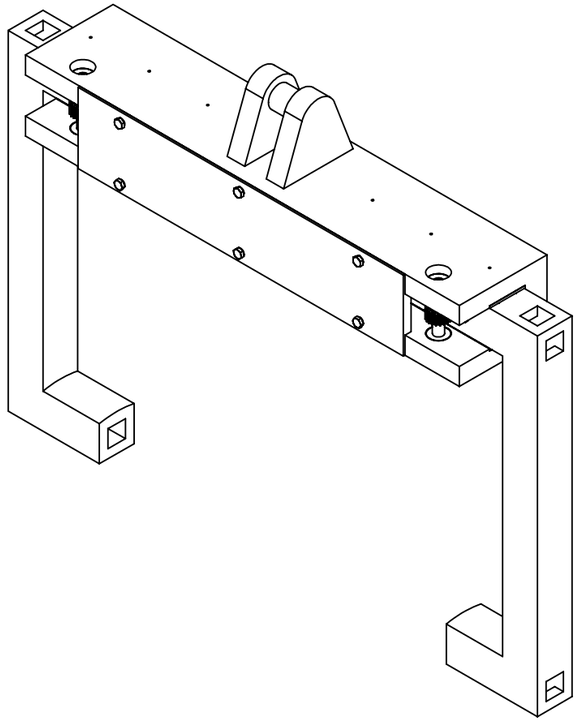


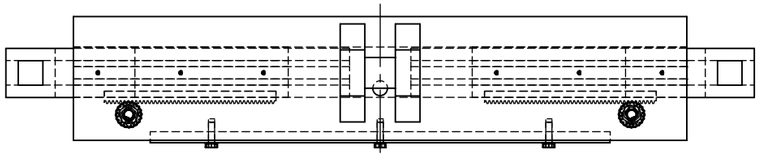
	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN		
Comprobado				
Id.s.normas				

Escalas: 1:10	GARRA ABIERTA	Número: 7
PROYECCIÓN	PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO	REFERENCIA: PG-05-01
		Sustituye a:
		Sustituido por:









	FECHA	NOMBRE	
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN	
Comprobado			
Id.s.normas			

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Escalas: 1:10

PROYECCIÓN

GARRA CERRADA

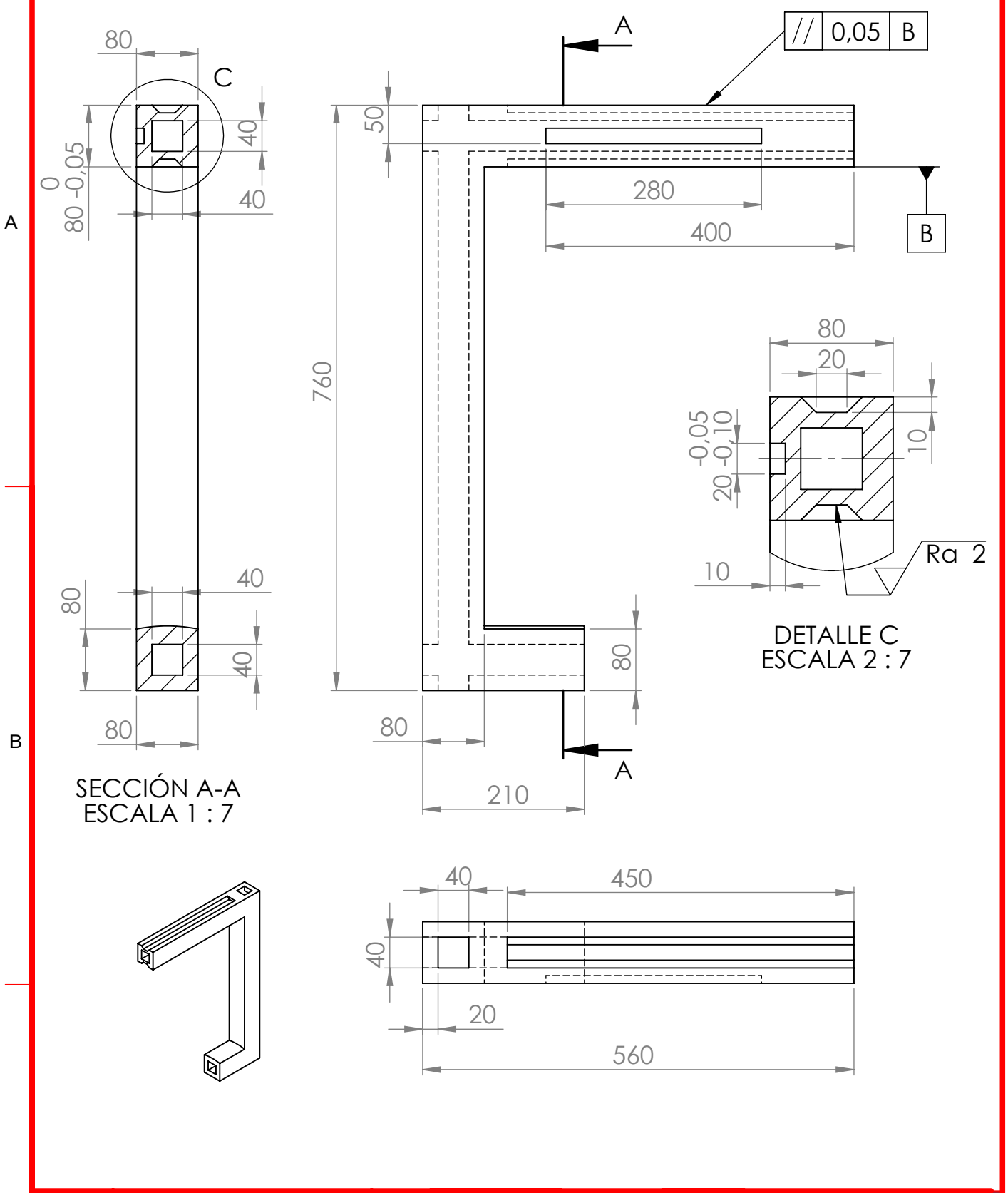
PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO

Número: 8

REFERENCIA: PG-05-02

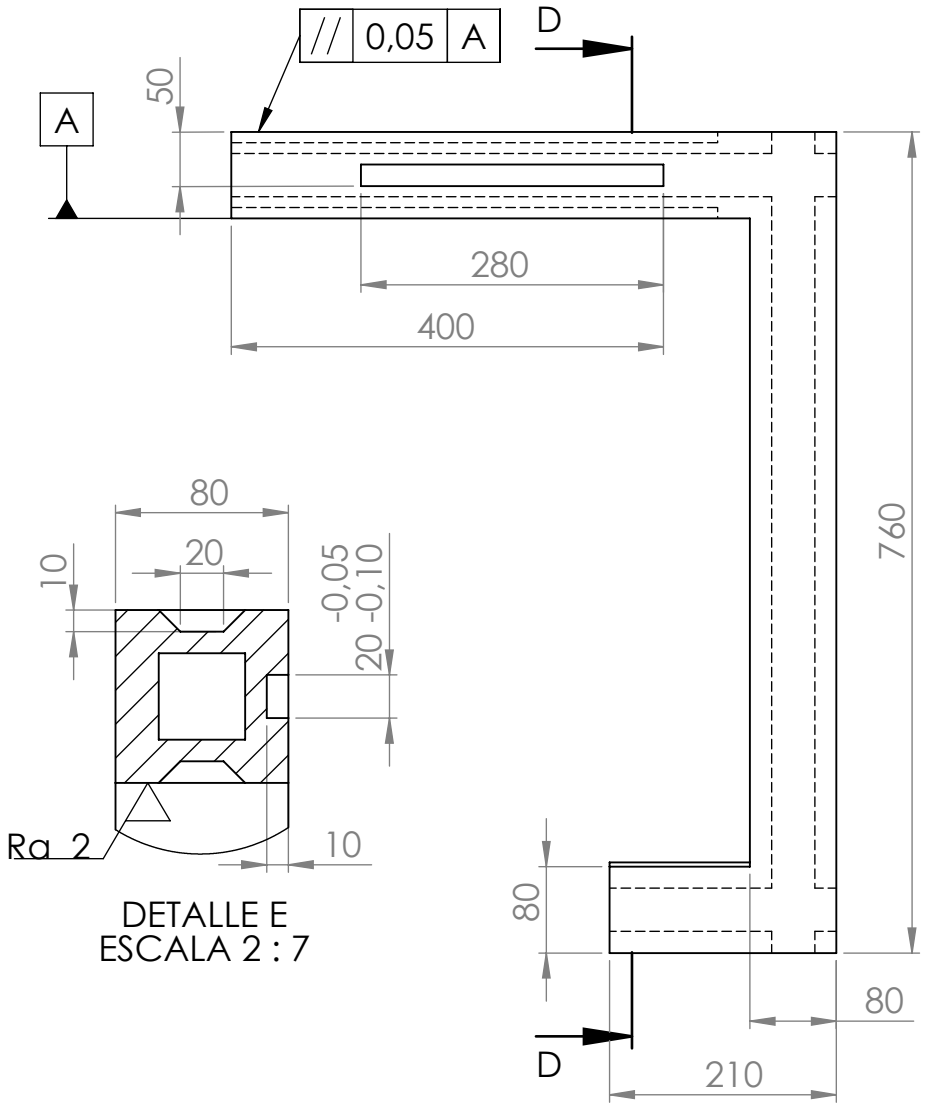
Sustituye a:

Sustituido por:

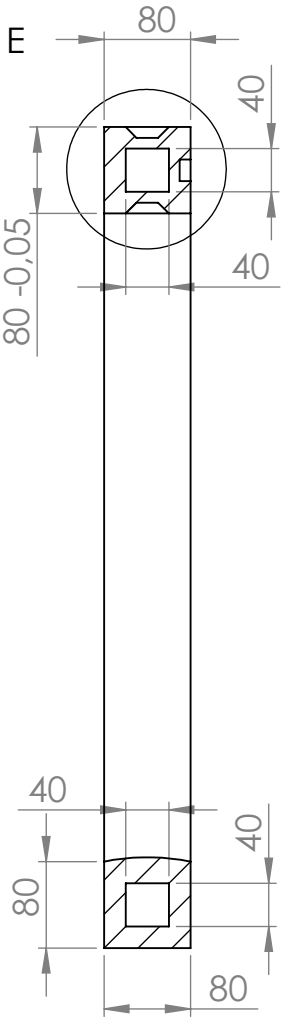


	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN			
Comprobado					
Id.s.normas					

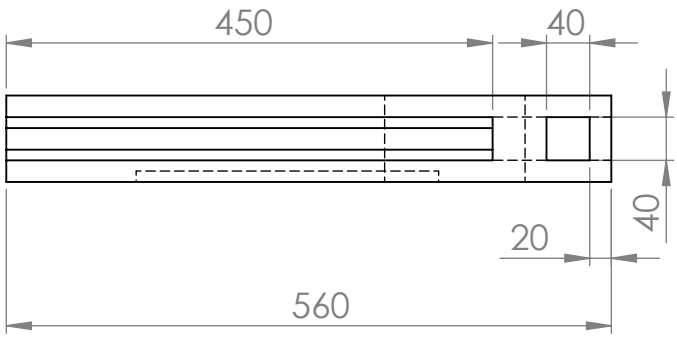
Escalas: 1:7	BRAZO DERECHO	Número: 9
PROYECCIÓN	PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO	REFERENCIA: PG-05-03
		Sustituye a:
		Sustituido por:

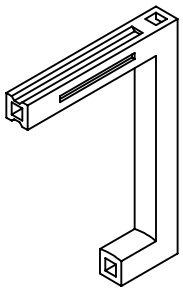


DETALLE E
ESCALA 2 : 7



SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 7





	FECHA	NOMBRE
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN
Comprobado		
Id.s.normas		

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Escalas: 1:7

PROYECCIÓN

BRAZO IZQUIERDO

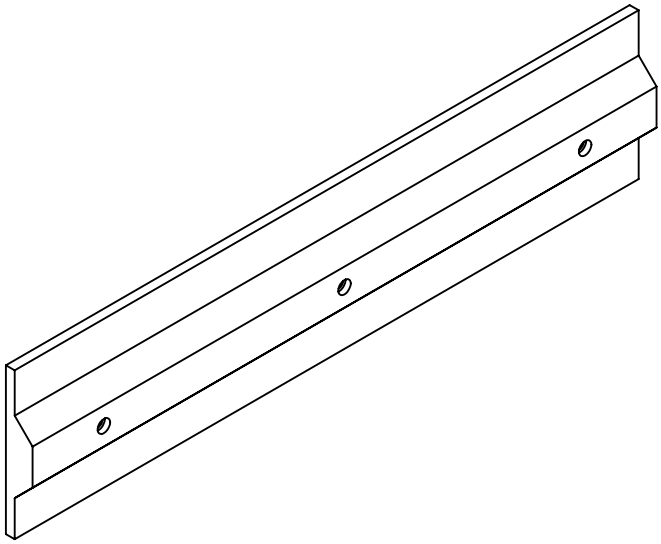
PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO

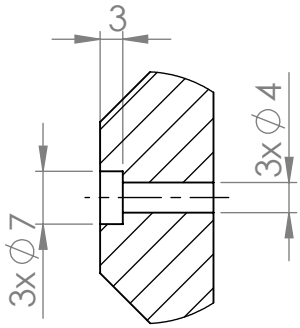
Número: 10

REFERENCIA: PG-05-04

Sustituye a:

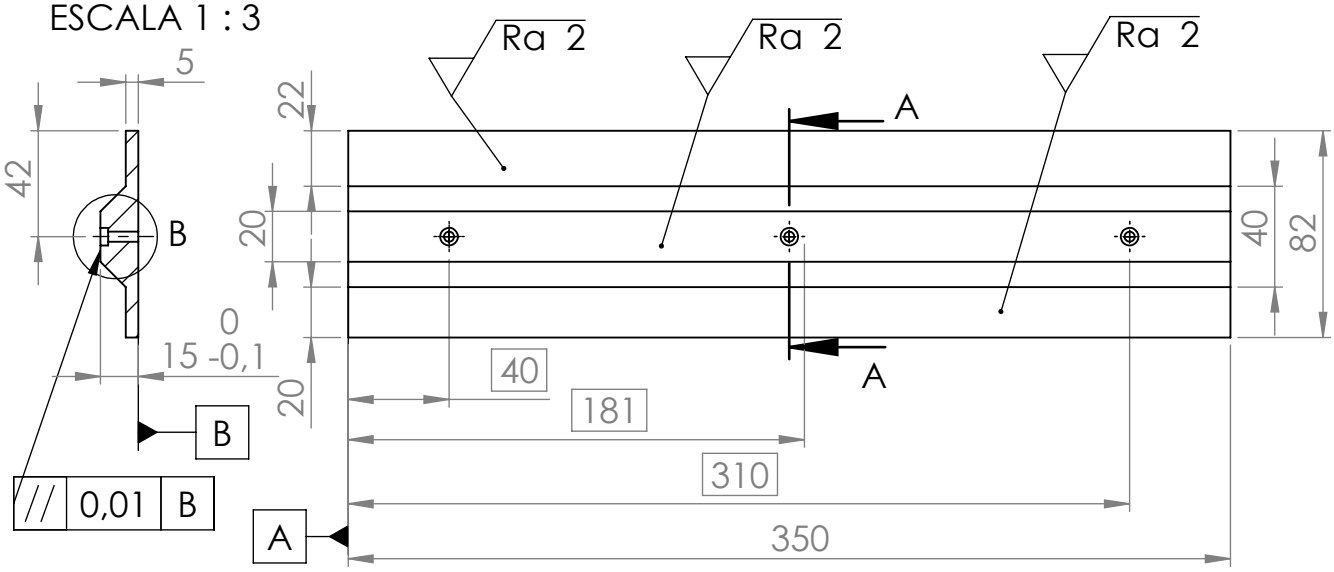
Sustituido por:





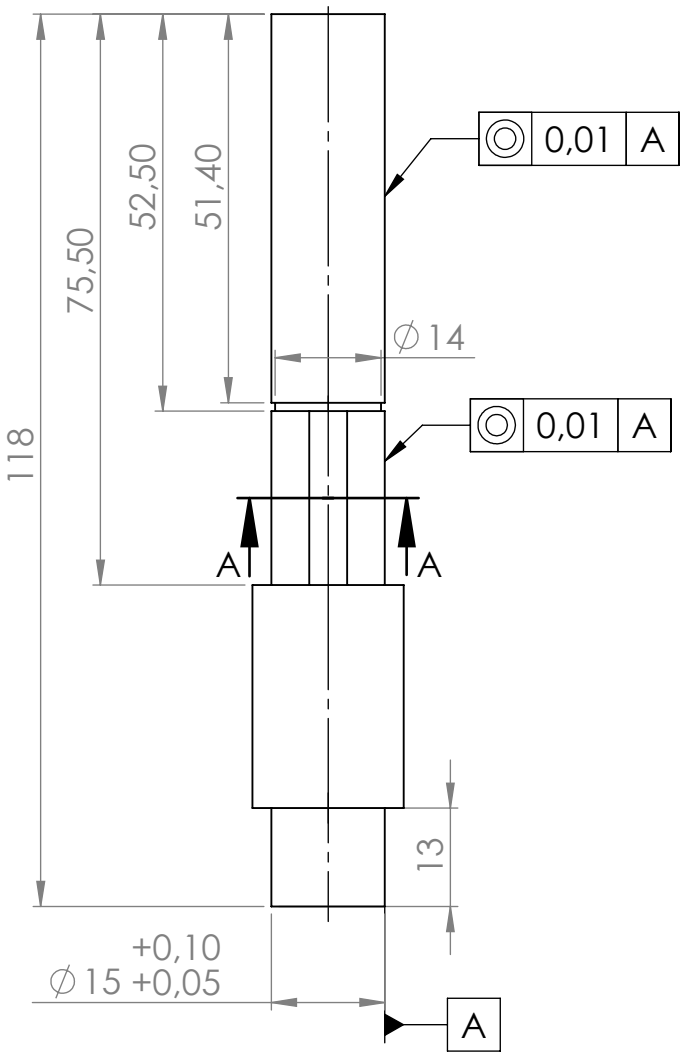
DETALLE B
ESCALA 1 : 1

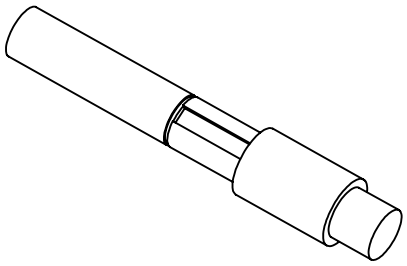
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 3

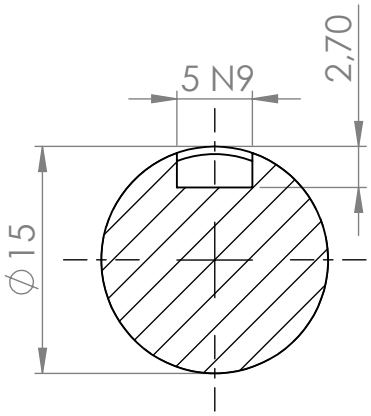


	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	07/07/2018	MANUEL MARÍN			
Comprobado					
Id.s.normas					

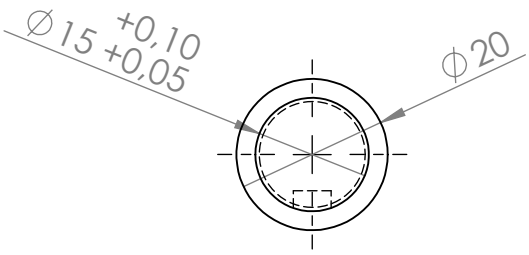
Escalas: 1:3	DESLIZADERA	Número: 11
PROYECCIÓN	PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO	REFERENCIA: PG-05-05
		Sustituye a:
		Sustituido por:







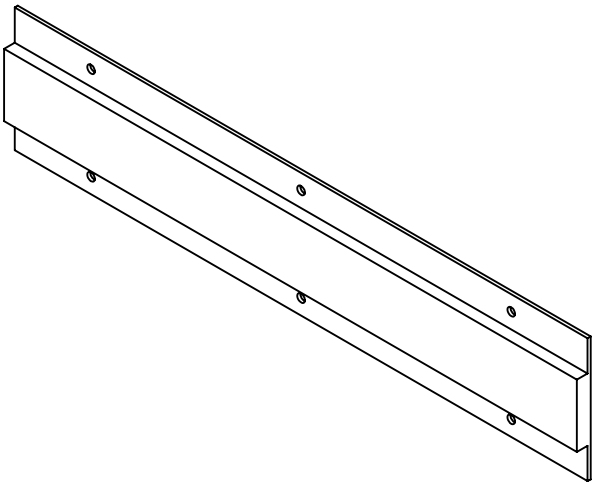
SECCIÓN A-A
ESCALA 2 : 1

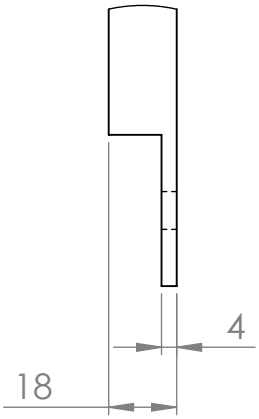


VISTA G
ESCALA 1 : 1

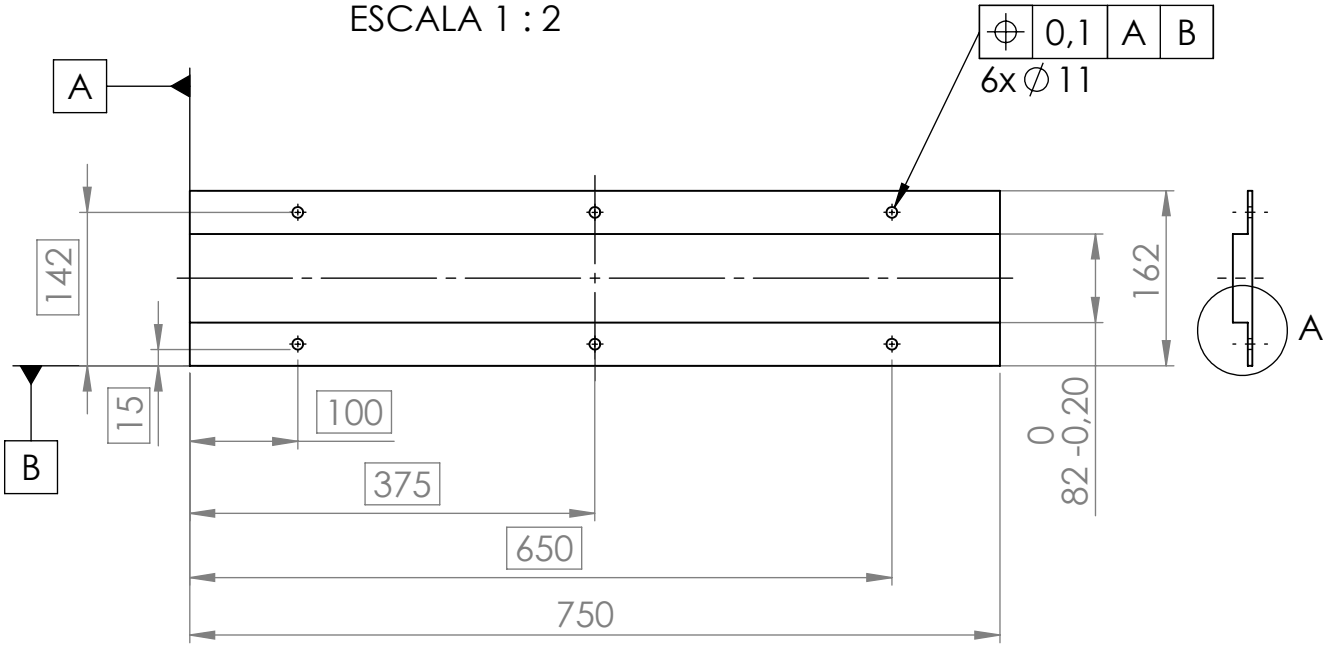
	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN			
Comprobado					
Id.s.normas					

Escalas: 1:1	EJE	Número: 12
PROYECCIÓN	PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO	REFERENCIA: PG-05-06
		Sustituye a:
		Sustituido por:



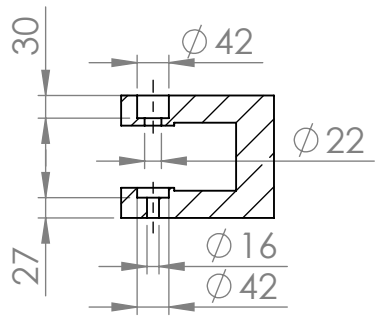


DETALLE A
ESCALA 1 : 2

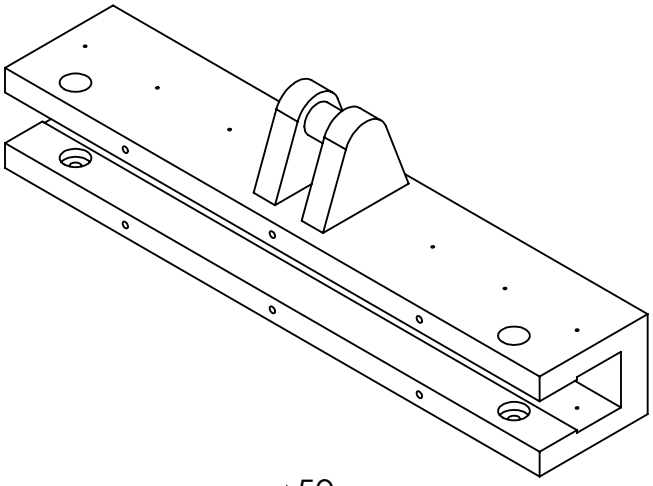


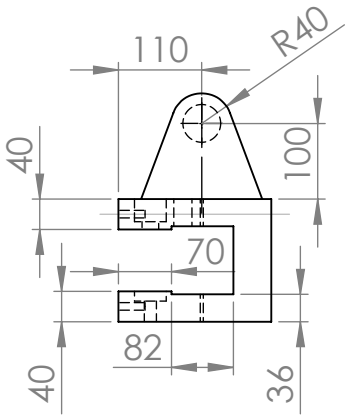
	FECHA	NOMBRE		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA INDUSTRIAL UNIVERSIDAD DE LA RIOJA	UNIVERSIDAD DE LA RIOJA
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN			
Comprobado					
Id.s.normas					

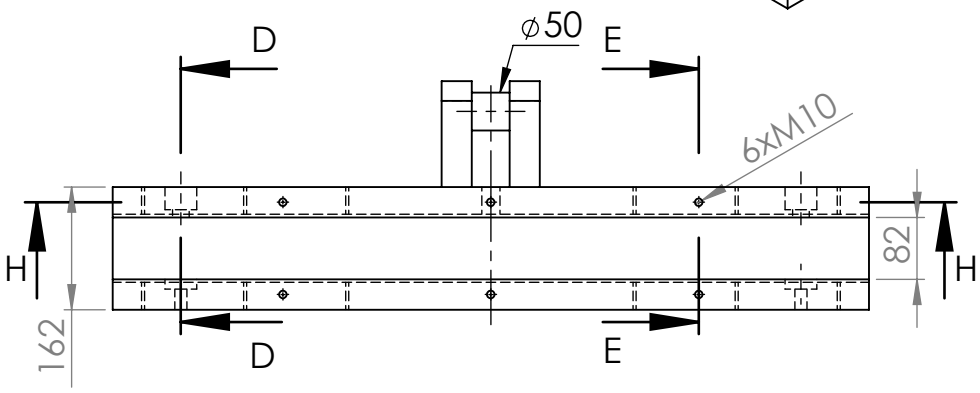
Escalas: 1:7	CARCASA	Número: 13
PROYECCIÓN	PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO	REFERENCIA: PG-05-07
		Sustituye a:
		Sustituido por:

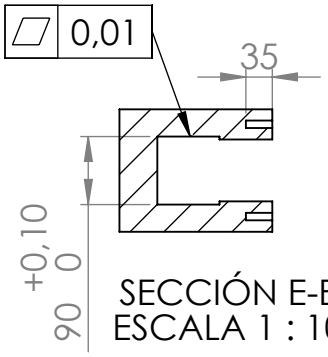


SECCIÓN D-D
ESCALA 1 : 10

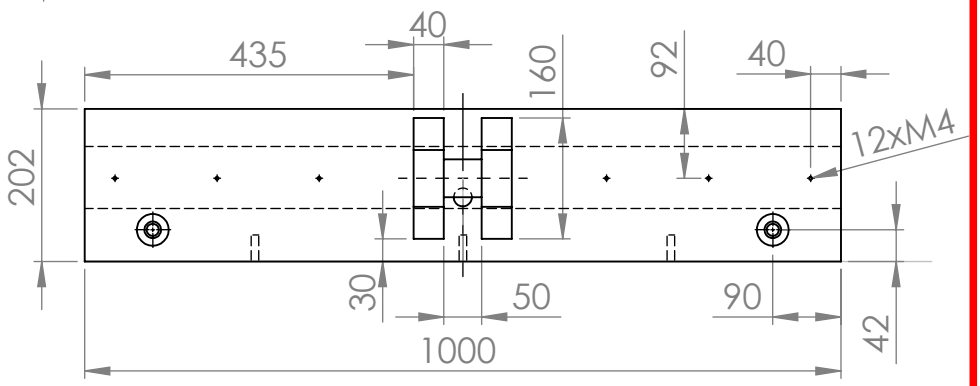


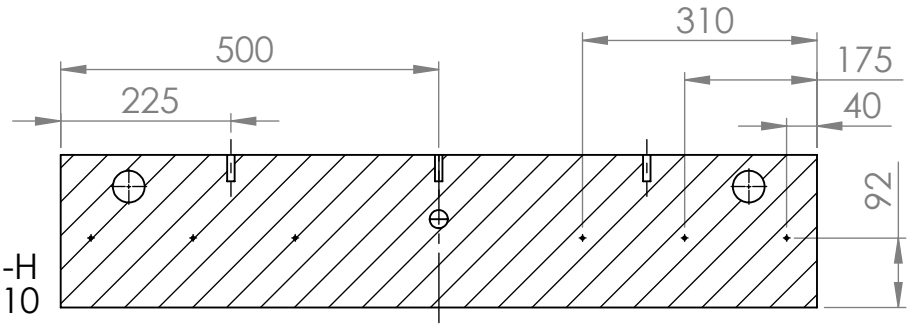






SECCIÓN E-E
ESCALA 1 : 10





SECCIÓN H-H
ESCALA 1 : 10

	FECHA	NOMBRE
Dibujado	06/07/2018	MANUEL MARÍN
Comprobado		
Id.s.normas		

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA
INDUSTRIAL
UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

Escalas: 1:10

PROYECCIÓN

BLOQUE PRINCIPAL

PUENTE GRÚA AUTOMATIZADO

Número: 14

REFERENCIA: PG-05-08

Sustituye a:

Sustituido por:

PLIEGO DE CONDICIONES

Puente grúa automatizado

803-G

Autor: Manuel Marín Uyarra

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ÍNDICE DE TABLAS

1 Modo de empleo

El puente grúa va a ser utilizado por los dos operarios que trabajan en las máquinas cortadoras y de conformado de bobina de complejo. Ellos son quienes se encargarán del almacén de bobinas además de sus asignaciones en las máquinas indicadas.

En primer lugar, cabe decir, que debido a que la máquina solo se ha programado en este proyecto para trabajar de modo semiautomático, el modo de empleo se ajusta a estas premisas, dejando de lado el modo automático y manual, que no se ha estudiado.

Para poner la máquina en funcionamiento hay que poner a ON el selector de marcha de la máquina. Una vez encendida es posible su manejo por medio de los pulsadores. La pulsación de un pulsador supone el inicio de marcha de una secuencia operativa de la máquina. Existen 4 pulsadores, uno por cada una de las secuencias.

El pulsador de marcha 1 se encuentra en el pilar contiguo al área de INPUT A. Se pulsará este pulsador cuando se haya colocado una bobina en el área a la que hace referencia para que el puente grúa la coloque en el almacén.

El pulsador de marcha 2 se encuentra en el pilar contiguo al área de INPUT B. Se pulsará este pulsador cuando se haya colocado una bobina en el área a la que hace referencia, para que el puente grúa la coloque en el almacén.

El pulsador de marcha 3 se encuentra en el pilar contiguo al área de OUTPUT A. Se pulsará este pulsador cuando sea necesaria una bobina de aluminio en la máquina de conformado de complejo.

El pulsador de marcha 4 se encuentra en el pilar contiguo al área de OUTPUT B. Se pulsará este pulsador cuando sea necesaria una bobina de aluminio en la máquina cortadora.

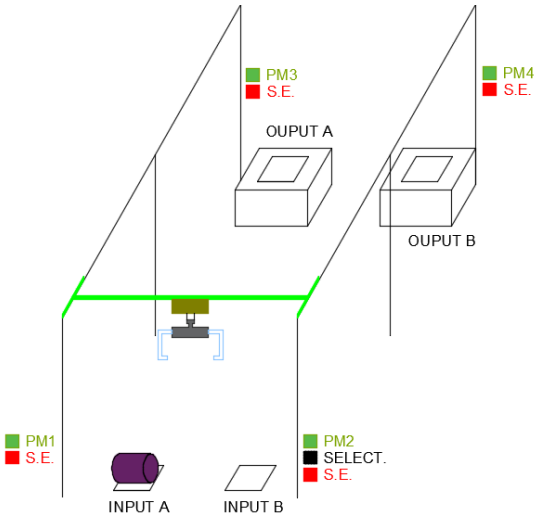


Ilustración 1. Ubicación de pulsadores, setas y selectores

De esta forma, los operarios trabajarán en sus máquinas en condiciones normales, pulsando PM3 y PM4 para autoabastecerse de bobinas en las máquinas sobre las que tienen potestad. En los momentos en que llegue un nuevo acopio de bobinas para el almacén al porche exterior, un trabajador permanecerá en el área de máquinas haciéndose cargo de las cortadoras y la conformadora de complejo, mientras el otro se encargará de transportar las bobinas desde el porche hasta las áreas de INPUT. Este proceso lo realizará con una carretilla elevadora. Antes de

presionar PM1 o PM2 (según corresponda), debe asegurarse de colocar correctamente el pallet de la bobina sobre el cuadrado marcado. Además, también debe desembalar la bobina para que la garra pueda operar correctamente.

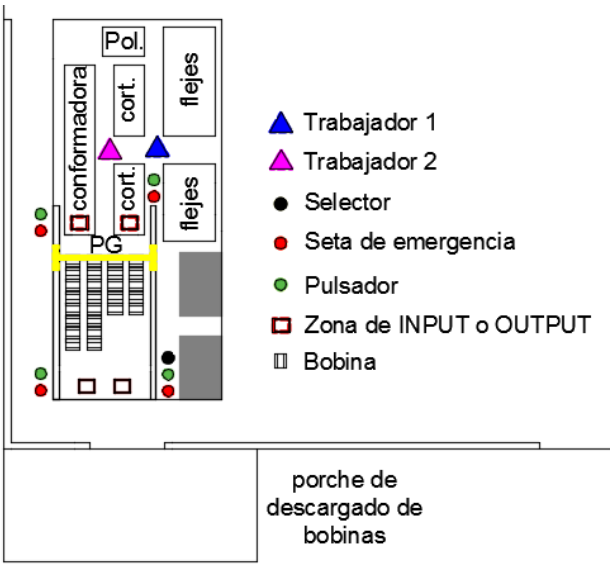


Ilustración 2. Disposición de trabajadores en condiciones normales

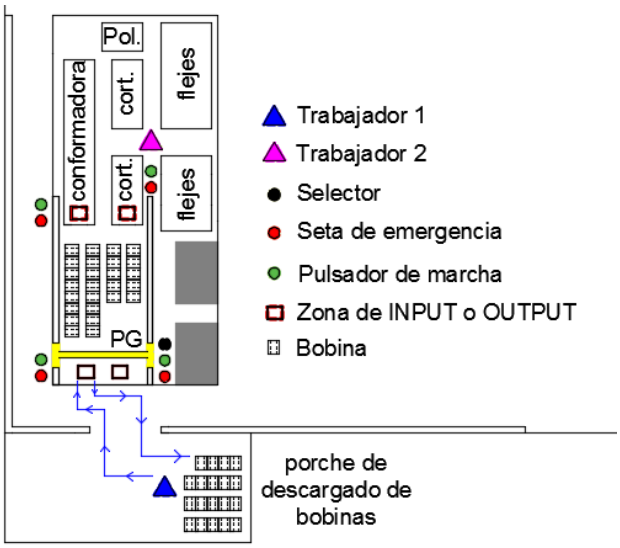


Ilustración 3. Disposición de trabajadores en condiciones de acopio de bobinas

Durante el proceso de almacenado de bobinas, si se pulsa simultáneamente un pulsador de la zona de INPUT con un pulsador de la zona de OUTPUT, los algoritmos de programación darán prioridad por motivos de producción a la zona de OUTPUT, por lo que en primer lugar la garra quitará una bobina del almacén para llevarla a procesar.

Las consideraciones que tener en cuenta por los empleados en el manejo del PG vienen descritos en el apartado 4. Sin embargo, conviene recordar que bajo cualquier irregularidad deberán pulsar la seta de emergencia (se puede encontrar una junto a cada uno de los 4 pulsadores de marcha). La seta de emergencia es un pulsador con enclavamiento, por lo que, para reanudar la marcha, se deberá desenclavar.

También es posible que surja una avería y que sea detectada por el propio sistema de seguridad del puente grúa. En estos casos los operarios encargados de la máquina se pondrán en contacto inmediatamente con el equipo de mantenimiento para que acudan a solventar el problema.

Otro aspecto importante dentro del funcionamiento interno del PG es su secuencia de acciones (detalladas en Anexos). La grúa ha sido diseñada para poder realizar exclusivamente un movimiento lineal al mismo tiempo. Es decir, si se eleva únicamente entrará en funcionamiento el motor de elevación. Si realiza un movimiento de traslación, únicamente los motores de los testeros (conectados en serie) actuarán en ese momento.

1.1 Verificaciones antes de la puesta en marcha semanal

Antes de iniciar los trabajos el trabajador deberá asegurarse de que serán cumplidas las siguientes condiciones:

La grúa y los raíles o caminos de rodadura deben estar libres de personas ajenas al servicio.

No deberá haber ningún elemento suelto sobre la Grúa (herramientas, recambios, combustible…)

Todos los dispositivos de comando y maniobra deberán estar en posición neutra.

Verificar si funcionan los dispositivos de señalización y alarma.

Deberán funcionar correctamente los frenos, los fines de carrera y los encoders.

El enrollamiento del cable deberá ser el adecuado, verificando este punto ejecutando una maniobra de carga y comprobando la existencia o no de algún ruido no común en los mecanismos.

La garra deberá estar posicionada en las coordenadas de origen.

1.2 Instrucciones durante el servicio

En el caso de que deba moverse la carga por encima de personas, el operador deberá parar la máquina inmediatamente y retomará la operación cuando la pista esté libre.

En caso de perturbaciones durante el movimiento de la carga, el operador deberá accionar inmediatamente el pulsador de emergencia.

Cada vez que se produzca una avería, el trabajador deberá llamar al equipo de mantenimiento.

Cualquier operación realizada deberá ser anotada en el libro.

En caso de falta de tensión durante el servicio el operador deberá dejar todos los comandos en posición neutra. Para saber cuándo es restablecida la tensión de servicio, basta dejar conectado el sistema de iluminación.

1.2.1 Instrucciones al final del servicio

La garra deberá quedar colocada en su posición de origen.

No deberá haber ningún elemento suelto sobre la grúa.

Desconectar el selector de la grúa y su interruptor principal (armario eléctrico).

2 Normativa y legislaciones aplicables

Código técnico de la edificación:

CTE DB SE, Seguridad Estructural.

CTE DB SE-AE, Seguridad Estructural. Acciones en la edificación.

CTE DB SE-A, Seguridad Estructural. Acero.

CTE DB SE-C, Seguridad Estructural. Cimentaciones.

Normas UNE:

UNE 157001:2014, establece los criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico.

UNE 58812-1:1991, establece una clasificación de los aparatos de elevación.

UNE 58132-2:2005, establece las acciones que deben considerarse en los aparatos de elevación.

UNE-EN 10025, indica como debe ser la garganta de las poleas de acero.

UNE-EN 10080, disposición acerca del acero corrugado en cimentaciones.

UNE 58128-87, establece las directrices sobre las tolerancias de los caminos de rodadura.

UNE-EN 10020:2001, de clasificación de los aceros.

UNE-EN-292-1 y 2, sobre seguridad en máquinas y conceptos básicos de diseño.

UNE-EN 50086-1, Sistemas de tubos para la conducción de cables. Requisitos Generales.

Norma UNE 21144-3-2, Cables eléctricos. Cálculo de la intensidad admisible. Secciones sobre condiciones de funcionamiento. Optimización económica de las secciones de los cables eléctricos de potencia.

UNE-EN 60309, Tomas de corriente para usos industriales.

Normas NTP:

NTP 736, generalidades de puentes grúa y las condiciones para una utilización segura.

NTP 737, Utilización y formación de operadores para puentes grúa.

NTP 738, Montaje, instalación y mantenimiento de puentes grúa.

Leyes y decretos:

LEY 31/1995, de 8 de noviembre, de prevención de riesgos laborales (LPRL).

RD 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen las disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción.

RD 773/1997, 30 de mayo, sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud relativas a la utilización por los trabajadores de equipos de protección individual.

Real Decreto 842/2002, de 2 de agosto de 2002, por el que se aprueba el Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión e Instrucciones Técnicas Complementarias.

Directiva 89/391/CEE, del Consejo, de 12 de junio de 1989, relativa a la aplicación de medidas para promover la mejora de la seguridad y de la salud de los trabajadores en el trabajo.

Normas ISO:

ISO 129-1:2004, establece las normas de acotación.

ISO 898-1:2013, Especifica la calidad mecánica de los tornillos.

ISO-8686, normas de cálculo de los aparatos de elevación.

Normas DIN:

DIN 471, para ejes.

DIN 15401, DIN 17102, DIN 17103, DIN 17200 DIN 15400, para ganchos.

DIN 15061, para poleas.

DIN 15601 DIN 4130, para el tambor.

DIN 535 P1:1991, para el riel.

DIN 40050, para la protección de motores.

DIN 988, para arandelas.

DIN 933, DIN 6912, tornillería.

DIN 471, anillo de seguridad.

DIN 471, para la chaveta.

También se emplean durante el cálculo de piezas los códigos ASME (para el diseño del diámetro del eje), las normas SAE (para la selección de materiales), la ASTM (también en materiales), la ANSI (para todo lo relativo a los cables).

3 Instalación

Las obras incluidas en el Proyecto de Instalación del Puente Grúa en la planta de producción de la empresa MUYAR.SA se deberán llevar a cabo sin que la producción de cápsulas de botella se detenga. Este hecho obliga a contar con un plan que prevea estos hechos y busque soluciones para que el normal funcionamiento de la fábrica no sea nunca interrumpido y se reduzcan al máximo los riesgos que se pudiesen generar.

En la Memoria se puede consultar la distribución temporal de los diferentes trabajos en los que se ha dividido la ejecución de este proyecto, así como la determinación de su duración y relaciones de precedencia, obteniéndose el diagrama de Gantt de la fase de ejecución del proyecto. El plazo estimado para la ejecución de las obras comprende desde el día 1 de agosto hasta el día 18 de septiembre, a partir del día siguiente a la firma del Acta de Comprobación del Replanteo.

3.1 Desinstalación y replanteo

Antes de empezar las obras será preciso liberar el espacio necesario para la construcción de la nueva estructura y el montaje del puente grúa sobra ésta. Las bobinas que ocupan la zona destinada a la instalación del puente grúa deben ser retiradas y recolocadas en otro lugar de la fábrica. La nueva ubicación debe permitir continuar con la marcha de la empresa sin interferir en la producción.

A continuación, se realiza la fase de replanteo donde se trasladará al suelo la ubicación de los diferentes elementos proyectados sobre plano. Se deberán marcar convenientemente los puntos característicos, como posición de los pilares, posibles cruces con otras instalaciones existentes en la nave, electricidad, etc.

3.2 Movimientos de tierras

Los movimientos de tierra que será preciso llevar a cabo consisten en la apertura de las zanjas para la construcción de las zapatas de la nueva estructura. Los pasos se detallan a continuación.

Una vez señalada la ubicación exacta de las zapatas de la nueva estructura, antes de comenzar la demolición de la solera de hormigón del suelo, se deberá realizar un corte en el mismo para evitar que se desprendan trozos más allá de la zona a demoler. Para este trabajo se utilizará una máquina cortadora equipada con disco de diamante y agua, para evitar que se desprendan trozos más allá de la zona a demoler.

Se continúa con la demolición de la solera o pavimento de hormigón. Esta actividad de obra incluye todos aquellos trabajos necesarios para realizar la demolición de la solera de hormigón utilizando para ello medios mecánicos o manuales. Se recomienda el martillo neumático preferentemente. Se deberá de estar atento en la excavación por si aparecieran elementos de antiguas estructuras como zapatas, vigas de riostra etc. En caso de que aparecieran, la dirección facultativa estudiará in situ cual es la solución constructiva idónea para solventar el problema.

Una vez se alcance el nivel de tierra bajo la solera se continuará excavando, también con medios manuales, hasta alcanzar la profundidad establecida para construir las zapatas de la nueva estructura; 0,35 metros bajo el nivel del suelo de la nave.

3.3 Cimentación

Se da paso a la cimentación, que consistirá básicamente en la construcción de hasta 6 zapatas aisladas con hormigón en masa. Los procedimientos constructivos que probablemente se llevarán a cabo para la ejecución de la cimentación serán los habituales, es decir, compactación del terreno una vez se haya llegado a la cota de explanación, vertido y extendido del hormigón de limpieza y nivelación (una torta de 5 cm de espesor de hormigón HL-150/B/20).

Más tarde se continúa con el vertido, vibrado y curado del hormigón cuya definición, dimensionamiento y cálculo, así como el del resto de la estructura viene recogido en los Anexos y en los planos de estructuras. Estará formada por una zapata de hormigón HM-30.

3.4 Instalación de la estructura

La estructura que soportará el puente grúa estará compuesta por dos semi estructuras o pórticos independientes de la nave. Se realizarán a partir de vigas acero S275 con perfiles laminados en caliente de las series IPE 300 para las vigas carrileras (4 de 7 metros cada una) y HE 240 B para los pilares (6 de 5 metros cada uno), así como placas de anclaje y pernos. En los planos se especifican las medidas entre vigas, así como los anclajes y la soldadura a ejecutar entre los perfiles.

Los pasos llevados a cabo son los siguientes. Se comienza por elevar el primer perfil con ayuda de un camión grúa y se coloca perpendicularmente sobre la placa de anclaje. El pilar debe mantener estrictamente 90 grados con respecto a la placa y ubicarse en el centro de la misma. Se darán tres puntos de soldadura y se verificará con el nivelador láser que el perfil está recto. En ese momento se realizan los cordones de soladura pertinentes.

Este primer pilar anclado sirve de referencia para la colocación de los demás, que se levantarán y fijarán al suelo con el mismo procedimiento.

Las vigas carrileras se elevarán también con el camión grúa. Sin embargo, en este caso es necesario el uso de dos plataformas elevadoras de tijera, desde donde se controla la deposición de la viga sobre los pilares. Una vez apoyada, se calibra para que su posición sea la correcta y se sueldan los perfiles.

3.5 Instalación de los raíles

El camino de rodadura bien instalado dentro de las tolerancias indicadas garantiza una correcta traslación de la grúa aumentando considerablemente la duración de los mecanismos de traslación y sus piezas de desgaste. Es de vital importancia antes de poner en funcionamiento una nueva instalación comprobar las tolerancias en el montaje de los caminos de rodadura; estas deben estar dentro de los valores establecidos.

Todos los carriles se soldarán entre sí o mediante juntas con un ángulo de 45º. Mecanizando las juntas posteriormente de forma adecuada.

El incumplimiento de las instrucciones respecto al montaje del camino de rodadura del PG puede tener las siguientes consecuencias: desgaste rápido de las pestañas de las ruedas, calentamiento excesivo y deterioro de los rodamientos, deformaciones de la estructura metálica, rotura de los cordones de soldadura y descarrilamientos.

Las superficies de rodadura han de estar limpias de aceite, grasas, pintura u otras impurezas.

En los extremos del camino de rodadura se colocarán los topes.

Las tolerancias indicadas son aplicables al camino de rodadura en su instalación (camino de rodadura nuevo). Si en el curso de la utilización estas tolerancias son superadas en un 20%, se procederá al enderezado de las vías. Si el comportamiento durante la traslación queda notablemente afectado, puede resultar necesario enderezar la vía, aún sin haber sobrepasado el 20% tolerado.

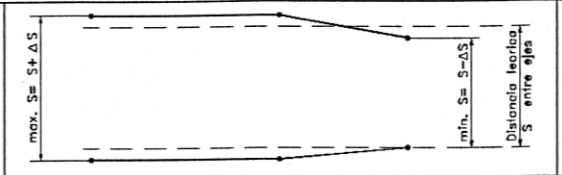
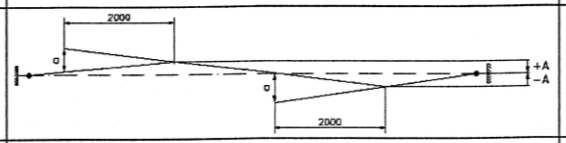
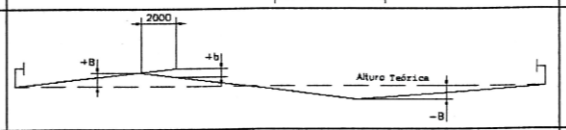
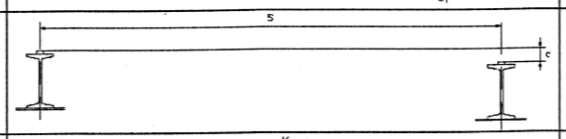
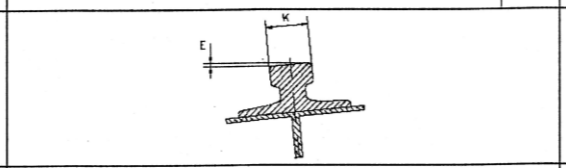
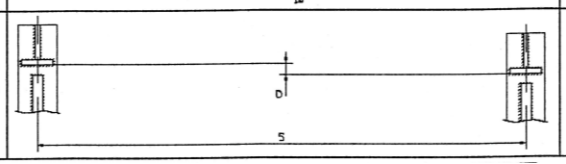
		Tolerancias de caminos de rodadura (para Grúas puente) según F.E.M.1001-87(Cuaderno 8) ó la UNE 58128-87
Luz =S(paralelismo)		S < 15 m.: Δs = ±3 mm S > 15 m.: Δs = ± [3 + 0,25 (S – 15)] mm.
Alineación de un carril en el plano		A = ± 10 mm En una longitud máxima de carril de 2,0 m., no deberá pasar la tolerancia siguiente: a = ± 1,0 mm En las Grúas de guía por un solo carril: a = ± 0,5 mm
Diferencia de altura de un carril(desnivel longitudinal)		B = ± 10 mm En una longitud máxima de carril de 2,0 m., no deberá pasar la tolerancia siguiente: b = ± 2 mm
Diferencia de altura entre los dos carriles (desnivel transversal)		C = ± 0,2 ‰ de S máx. = ± 10 mm
Desnivel de la cabeza del carril		Longitudinalmente : E < 0,3 % Transversalmente : E < 0,3 %
Diferencia de los topes entre si sobre el plano horizontal		D = ± 0,7 ‰ de S máx. = 20 mm

Tabla 1. Tolerancias de los caminos de rodadura en puentes grúas

Atendiendo a la Tabla 1, los raíles de la aplicación deberán cumplir las siguientes tolerancias (S=6500 mm):

- Luz: entre 6497 mm y 6503 mm
- En una longitud máxima de carril de 2 metros, la alineación en plano no sobrepasará los $\pm 0{,}5$ mm.
- El desnivel longitudinal en una longitud máxima de carril de 2 metros no deberá superar los ± 2 mm.
- La diferencia máxima entre los carriles no será mayor de $\pm 1{,}3$ mm.
- La diferencia de los topes entre sí no superará los $\pm 4{,}5$ mm.

3.6 Montaje de la viga principal y los testeros

Es aconsejable montar la grúa en el suelo a pie de obra, antes de proceder al izado a sus vías. Para ello se debe seguir el siguiente orden.

3.6.1 Montaje de la grúa en el suelo

Colocar la viga principal sobre unos tacos de madera colocados en el suelo. Poner especial atención a que presente un buen equilibrio.

Alinear la superficie de los testeros con la de la viga principal.

Presentar los testeros sobre los extremos de la viga, atornillando suavemente. Buscar la posición correcta de los testeros introduciendo las guías. A continuación, terminar de atornillar las dos partes con un par de apriete según especifica la Tabla 2. La fuerza se expresa en DecaNewton y el par en DecaNewtonMetro. Se necesita conocer la métrica del tornillo o tuerca y la calidad del mismo según norma EN ISO 898-1 (8.8, 10.9 o 12.9).

CALI DIN Ø M	8.8		10.9		12.9	
	daN	daNm	daN	daNm	daN	daNm
8	1159	2.4	2192	3.5	2630	4
10	2470	4.9	3474	6.7	4162	8
12	3560	8.3	5062	11.7	6074	14
14	4959	13.3	6974	18.7	8369	22
16	6769	20	9519	28.6	11423	34
18	8324	28.4	11705	40	14046	48
20	10635	39.6	14956	56	17947	67
22	13220	53.6	18591	75	22310	91
24	15300	68.5	21515	96	25817	116
27	20017	99.5	28148	140	33778	168
30	24456	135	34392	191	41270	229
33	30343	183	42670	257	51200	309
36	35697	236	50198	332	60238	398
39	43714	304	61474	427	73768	512
42	50216	377	70617	530	84740	636
45	58500	468	82277	658	98733	790
48	66000	565	92808	794	111370	953

NOTAS:

1- AL FIJAR UN PAR DE APRIETE SE CONSIDERA QUE LA BASE DE LAS PIEZAS A MONTAR ESTAN EN CONDICIONES DE ADMITIR EL ESFUERZO.-
2 - LOS VALORES INDICADOS SON CON ROSCAS LIMPIAS Y SECAS.-
3 - REDUCIR EL PAR DE APRIETE EN UN 10% CUANDO SE UTILIZA ACEITE COMO LUBRIFICANTE.-
4 - REDUCIR EL PAR DE APRIETE EN UN 10% CUANDO SE UTILIZAN TORNILLOS NUEVOS CON RECUBRIMIENTO SUPERFICIAL.-
5 - LOS TORNILLOS EN ALUMINIO REQUIEREN UNA REDUCCION DEL PAR DE APRIETE DE UN 30% O MÁS DEL INDICADO. PARA LA PROFUNDIDAD DE ROSCA DEBERÁ SER UN MÍNIMO DE (DOS) 2 VECES DEL DIAMETRO DEL TORNILLO.-

Tabla 2. Par de apriete de tornillos y tuercas

El tornillo que une la chapa soldada a la viga principal con la testera es un M20x210. Y calidad 10.9 (acero de medio carbono aleado y tratado térmicamente). Por tanto, el par de apriete será de 56 daNm, es decir, 560 Nm.

Todos los pares de apriete de tuercas y tornillos que configuran el puente grúa se rigen por los valores expuestos en la tabla. Por tanto, antes de la puesta en servicio se deberá inspeccionar que todos cumplen con lo establecido siguiendo el procedimiento llevado a cabo con los tornillos de la viga testera.

3.6.2 Izado de la grúa

Una vez ensamblada la grúa en su totalidad, ésta se eleva en sentido transversal a la estructura montada y se gira 90 grados cuando sobrepase las vigas carrileras. Prestar atención a que no se golpee el techo de la nave.

A continuación, ir descendiendo la viga levemente inclinada hasta encajar las ruedas de una viga testera con su carril. Una vez encarriladas, descender la otra mitad de la viga principal con extrema suavidad hasta hacer encajar el otro par de ruedas en su raíl.

3.7 Instalación del carro polipasto de altura reducida en la viga

Para su instalación en la viga principal IPE 330 se debe tener montado todo el carro-polipasto al completo, es decir, el sistema de elevación integrado, el cable enrollado sobre el tambor, las poleas y el gancho ajustados.

La viga principal ya está colocada en su lugar, a una altura de unos 5 metros, por lo que para la instalación de este elemento se emplean una carretilla elevadora y la tijera elevadora.

Una vez que el carro polipasto se encuentre a una altura cercana a la viga principal, se aflojan las tuercas de los espárragos. Una vez aflojadas tuercas y espárragos, y separadas las placas a la medida que exige el carril, se encajará el carro apoyándolo sobre el ala inferior del carril.

A continuación, se aprietan las tuercas de los espárragos para ajustarlo a la rodadura.

Se conectará el cable de alimentación a la caja de conexiones del polipasto y por el otro lado a la red de alimentación.

Se regularán los encoders y finales de carrera en los puntos deseados.

Se realizarán las pruebas de funcionamiento. Para ello seguir las instrucciones del apartado 3.11.2.

3.8 Montaje de la garra

El montaje de la garra se realiza por completo en obra una vez se haya fabricado u hecho el acopio de todos sus componentes. Como se especifica en los Planos, en la garra existen elementos comerciales, pero también la forman piezas que se deben fabricar por mecanizado específicamente para esta aplicación (bloque principal, brazos, carcasa, ejes y deslizaderas).

En primer lugar, se coloca el bloque principal sobre las horquillas de una carretilla elevadora, alzándola 1 metro sobre el suelo. Se atornillan las deslizaderas y se las rocía con grasa en espray. Después se insertan los rodamientos de abajo y se monta el piñón sobre el eje. A continuación, se encaja el eje concéntrico a los dos rodamientos. Se aplica grasa en todos los elementos móviles.

Al mismo tiempo se insertan las cremalleras en el hueco de los brazos (golpear con un martillo en los extremos de la cremallera, para no dañar la zona de engrane). Con ayuda de un gato hidráulico, se eleva cada uno de los brazos hasta nivelar con el hueco del bloque principal. En ese momento se introducen hasta que la cremallera engrane con el piñón.

Para completar el montaje se atornilla la carcasa, que es el elemento que mantiene la estabilidad de la garra para que no oscile.

Finalmente se aproxima la garra aún montada en la carretilla al puente grúa. Se sitúa debajo del carro polipasto y se hace bajar el gancho hasta poder enganchar ambos elementos.

3.9 Motorreductores

En este apartado se detalla el proceso que se debe llevar a cabo con todos los motorreductores que se necesitan en la obra.

Para empezar, una vez se han recibido los motorreductores en la fábrica, se debe inspeccionar y verificar que no ha habido ningún daño durante el transporte. También se debe comprobar que la placa de características técnicas corresponde con aquella que se solicitó. Debe almacenarse hasta su montaje en un lugar protegido y exento de humedad y a una temperatura menor de 40º.

Es imprescindible una verificación previa al montaje, donde se mida el grado de aislamiento de las resistencias, con un magnetotérmico a 1000 V. Comenzar a realizar la lectura cuando el test de voltaje esté en marcha, al menos durante un minuto. Cuando la bobina esté fría (de +10º a +40º) la resistencia deberá ser de 5 megahomios; en caliente, al menos 1 megahomio. Si la resistencia es menor la bobina tiene que ser secada. Lo mejor para secarla es meter el motor en un horno caliente y bien ventilado (temperatura alrededor de 80º C).

En cuanto al montaje, no se requieren herramientas especiales. Básicamente se limpia la superficie que entrará en contacto con la reductora y se verifica que el eje brochado del reductor esté bien lubricado con grasa. Se acoplan los dos ejes y se atornilla el conjunto.
Durante la puesta en marcha se debe comprobar lo siguiente:

- Dirección de rotación: Comprobar que la dirección de rotación de los motores es la adecuada. Los motores de traslación instalados simétricamente y operando en raíles opuestos, rotan en direcciones opuestas. La dirección se puede cambiar invirtiendo dos de las tres fases del motor.

- Operatividad del freno: Al arrancar el motor el electroimán atrae el disco que lleva incorporado el ferodo, el cual no deberá rozar el ventilador, debiendo mantener entre ellos una distancia uniforme. Cuando la grúa está en movimiento se debe observar permanentemente el correcto funcionamiento de los frenos. Verificar también que el entrehierro del freno se ajusta a los valores del fabricante.

- Ruido: Si se percibe un ruido intenso procedente del motor quiere decir que la conexión ha sido efectuada de manera defectuosa. El motor debe, por tanto, pararse inmediatamente. Por otro lado, si se percibe un sonido extraño en el rodamiento, significa que éste está dañado y, por consiguiente, debe ser reemplazado inmediatamente.

- Vibraciones: Si se percibe una vibración excepcional, la causa deberá ser identificada. Comprobar el montaje entre el motor y el reductor, y también la rectitud del eje motor.

- Temperatura de uso: Tras las aproximadamente 3 primeras horas de uso del motor, tocar con la mano la estructura del estator. Si está muy caliente (+50º), medir la temperatura con un termómetro. La temperatura máxima permitida se refleja en la siguiente tabla.

Temperatura máx. permitida en la zona más caliente	150
Temperatura máx. permitida en el bobinado, definida por la medición de la resistencia del bobinado	140
Sobrecalentamiento permitido en el bobinado cuando la temperatura ambiente máxima en un plazo corto de tiempo es de +40º	100

Tabla 3. Temperatura límite de motorreductores

3.10 Acometida eléctrica y puesta a tierra

Para la acometida eléctrica del PG se dispondrá de un cuadro de distribución eléctrica que contenga los elementos siguientes.

Interruptor encadenable, adecuado para la potencia instalada en la grúa, que corte la alimentación eléctrica de la misma en caso de necesidad.

Fusibles, para la protección de sobreintensidades que se puedan producir. Su elección se realiza en base a la potencia de la grúa, que es de 9 kW.

$$P_{TOTAL} = 2 \cdot P_{motorGARRA} + P_{motorELEVACION} + P_{motorCARRO} + 2 \cdot P_{motorTRASLACIÓN} = 2 \cdot 2 + 1{,}1 + 1{,}1 + 2 \cdot 1{,}1 = 8{,}4$$

3.10.1 Acometida eléctrica

La sección del cable de la acometida eléctrica dependerá de:

- La tensión de alimentación.
- La potencia instalada en la grúa.
- La distancia desde el punto de acometida a la toma de la línea.

La acometida eléctrica debe garantizar también una protección térmica y mecánica, a la vez que contra agentes externos que puedan dañar el cable de alimentación.

La acometida eléctrica deberá garantizar en bornas de los motores de la grúa un valor de voltaje dentro del margen de un 5 % del valor nominal de la tensión de la grúa estando ésta en funcionamiento.

3.10.2 Puesta a tierra

Todas las masas metálicas (motores, armario eléctrico, encoders, finales de carrera, etc.) deben estar eléctricamente unidas entre sí y al sistema de puesta a tierra por medio de un conductor de sección apropiado, que podrá ser desnudo o tener aislamiento amarillo-verde.

Como sistema de puesta a tierra se aceptan picas y electrodos de placa.

En caso de duda se insta a seguir las instrucciones del Reglamento de Baja Tensión o el asesoramiento de un técnico electricista sobre los pasos a seguir para una correcta puesta a tierra.

3.11 Pruebas de recepción

Este apartado tiene por objeto definir los ensayos a realizar y las especificaciones a que deben responder en la recepción de las grúas puente.

3.11.1 Condiciones del ensayo

- Tensión eléctrica de alimentación.

- La tolerancia máxima admitida de la tensión de alimentación eléctrica nominal del aparato es de $\pm 5\%$.

- Camino de rodadura o riel.

- Los caminos de rodadura deberán ajustarse a las tolerancias especificadas en la norma UNE 58-128, del apartado 3.5.

3.11.2 Ensayos

Se cumplirán las normas UNE 58-118 y F.E.M. 1001, con las siguientes puntualizaciones.

3.11.2.1 Ensayo estático

La carga de ensayo será de 1,4 P siendo P la carga nominal (bobina de 1000 kg). Consiste en elevar la carga nominal $100 \div 200$ mm por encima del suelo y añadir de forma progresiva sin choque el resto manteniendo suspendida la carga durante un tiempo mínimo de 10 minutos.

Una vez retirada la carga se comprobará que no se han producido deformaciones o averías en la estructura o mecanismos, admitiéndose una flecha residual de 1/2000 de la luz, tanto en viga principal como en vigas carrileras.

3.11.2.2 Ensayo dinámico

Este ensayo se efectúa con una carga de 1,20 P. Se realizan todos los movimientos sucesivamente y despacio, sin comprobar velocidades ni calentamiento de motores.

3.11.2.3 Ensayo de movimientos intensivos

Este ensayo se efectuará con la carga nominal, empleando de forma intensiva todos los movimientos de la grúa, elevando y descendiendo la bobina y trasladando el carro y el puente en ambas direcciones, durante 1 hora por lo menos. Se verifica el correcto funcionamiento de los limitadores, frenos, encoders, topes y otros. Se medirán las velocidades de utilización de los

diversos mecanismos una vez superado el período de aceleración, admitiéndose una tolerancia de $\pm 10\%$ respecto al nominal.

Se comprobará el calentamiento de los motores y frenos en un medio ambiente de temperatura inferior a 40^0C. Comprobar también los consumos de los motores con una tolerancia de $\pm 10\%$ sobre los valores indicados en las placas de características.

3.12 Puntos de inspección previos a la puesta en servicio

CABLE: Comprobar el buen estado del cable. Prestando atención principalmente al buen estado del trenzado y comprobando las grapas de fijación.

APAREJO: Inspeccionar que gancho y poleas no estén dañados. Las poleas deben girar con facilidad.

POLEAS DE REENVÍO: Comprobar que las poleas de reenvío giren fácilmente y no estén dañadas.

BOTONERA: Inspeccionar que la botonera no esté dañada mecánicamente. También inspeccionar la fijación del cable eléctrico y el cable de acero del soporte de la botonera. Comprobar el buen funcionamiento de la parada de emergencia.

DIRECCIÓN DE ROTACIÓN DE LOS MOTORES: Es importante al meter corriente al polipasto por primera vez que el sentido de giro del motor sea el correcto respecto a la secuencia que debe realizar. En caso de no ser así se invertirán las fases de alimentación. Lo mismo ocurre con los motores de las vigas testeras, con los de los brazos de la garra y con el de traslación del carro.

FINALES DE CARRERA: Comprobar que efectivamente el selector de fin de carrera detiene el curso del elemento que proteja en su posición extrema. En caso de no detenerse la marcha en el punto óptimo deseado se deberá regular el fin de carrera siguiendo las instrucciones de uso del fabricante.

ENCODERS: Verificar que en las secuencias de funcionamiento del PG la garra se coloca con precisión en las distintas posiciones y etapas.

FRENOS: Se comprobará el buen funcionamiento de los frenos, en un primer análisis con carga y en un segundo sin carga.

NIVEL DE ACEITE: Se confirmará el nivel de aceite de los reductores.

GRADO DE AISLAMIENTO DE MOTORES: El método más sencillo de comprobar el aislamiento del motor es medir su resistencia. Una resistencia alta demostrará que el motor está seco y limpio, si la resistencia es muy baja será señal de que el devanado está húmedo. En este último caso se procederá al secado del motor. En motores de bajo voltaje el grado de resistencia deberá ser normalmente de al menos 5 megahomios, en frío y 1 megahomio en caliente.

TOPES: Se comprobarán los topes del carro y las vigas carrileras.

FUNCIONAMIENTO: Se revisará que en los diferentes movimientos de los mecanismos del polipasto y la garra no existen ruidos ni vibraciones extrañas.

LIMITADOR DE CARGA: Se verificará que el limitador de carga está tarado aproximadamente con un 10 % de sobrecarga superior a la nominal (1000 kg). En caso de que esto no sea así se procederá a su regulación, siguiendo las instrucciones señaladas en su manual.

4 Normas de seguridad en operación

Este apartado hace referencia a los aspectos a tener en cuenta por los trabajadores que operen con la máquina.

4.1 Instrucción o conocimiento del personal que opera en la máquina

Previo a hacerse cargo de la máquina, el operario deberá ser instruido, principalmente en:

El manejo correcto y seguro de la máquina.

Las partes de que consta.

El funcionamiento de las mismas.

Los peligros que tiene la máquina.

Los sistemas de seguridad de que va provista.

Los métodos operativos correctos.

Las acciones que deben ejecutarse y aquellas que están prohibidas.

Las averías más comunes y la forma de subsanarlas con seguridad.

Las prendas de protección que se deben utilizar.

4.2 Instrucción o conocimiento del personal de mantenimiento

El encargado de mantenimiento de esta máquina debe tener conocimientos de mecánica, electrónica y electricidad, además de estar instruido en los peligros que presenta la máquina y en el manejo correcto y seguro de la misma.

Los trabajos de mantenimiento se efectuarán siempre sobre la máquina parada, habiéndole quitado la corriente eléctrica previamente.

En las zonas del puente grúa en las que no se dispone de línea de vida o accesos homologados (pasillos, escalas), los trabajos de mantenimiento se realizarán sobre plataforma elevadora homologada.

El mantenimiento de elementos en altura se realizará en zonas bajo las que no haya almacenada ninguna bobina (posición de origen de la garra) con el fin de no ensuciarlas con grasa, polvo, etc.

4.3 Acciones que nunca se deben realizar

Nunca se debe coger una carga diferente a la bobina de 1000 kg, y bajo ningún concepto una carga superior a la que indica la máquina.

Nunca elevar o transportar personas en el gancho, la garra, los testeros o la bobina en carga.

Nunca utilizar la grúa si no está en buenas condiciones de funcionamiento.

No modificar ninguna parte de la grúa o sus componentes.

No permitir el uso del PG a ninguna persona no cualificada para ello.

Nunca elevar o transportar ninguna carga hasta que la zona a transportar esté completamente libre de personas.

Nunca utilizar el cable del polipasto como eslinga.

No distraer la atención del operario mientras el puente grúa esté en funcionamiento.

Nunca dejar una carga suspendida sin tenerla controlada.

Nunca utilizar el cable del polipasto como tierra. Tampoco tocar el cable con ningún electrodo en funcionamiento.

No pulsar insistentemente los pulsadores de la botonera sin necesidad.

No pasar ni permanecer bajo la carga.

No introducir la mano en los elementos móviles, quitando previamente las puertas o ventanas de seguridad (piñón cremallera de la garra).

4.4 Prevención de accidentes

Está prohibido usar la grúa para arrancar cargas fijas o arrastrarlas.

En ningún caso se podrá transportar cargas suspendidas en alambre.

Para subir o descender a la grúa se debe obtener la conformidad del operador y únicamente estando la grúa inmovilizada.

El operador no iniciará las maniobras con carga por cuenta propia ni por indicación de persona no autorizadas.

El operador no podrá modificar los ajustes de las protecciones.

El operador debe negarse a realizar una secuencia de marcha cuando tenga dudas sobre las condiciones necesarias de seguridad tanto para la grúa como para la carga.

4.5 Acciones que tener en cuenta

Leer y seguir todas las instrucciones y consejos de los manuales de uso e instalación proporcionados por la empresa.

Cuando se haga una reparación o mantenimiento, utilizar solamente las piezas y materiales recomendados por el fabricante.

Caso de que se observe un funcionamiento inusual para el polipasto o la garra, inspeccionarlo y repararlo, si fuera necesario.

Establecer una periodicidad para su inspección y mantenimiento, con especial atención al gancho, frenos, fines de carrera, encoders, y guardando los informes de cada una de las actuaciones.

Inspeccionar el funcionamiento de los frenos, principalmente el del tambor del polipasto.

Inspeccionar los finales de carrera y los encoders.

Inspeccionar si el cable o el gancho han sufrido algún daño.

Mantener el cable limpio y lubricado.

Antes de que el polipasto entre en funcionamiento, comprobar que el cable no esté enrollado defectuosamente, doblado o con algún defecto.

Asegurarse de que cuando se eleve o desplace la carga, ésta no pueda interceptar con ningún objeto ajeno al almacén de bobinas.

Asegurarse de que la garra está colocada en su posición original antes de dar marcha al PG.

Evitar utilizar el puente grúa cuando las puertas colindantes al mismo se hallen abiertas, con el fin de evitar las imprecisiones que pueda producir el viento.

Asegurarse de que cuando la garra abrace la bobina, la bobina queda bien asentada sobre la base de los brazos.

Asegurarse de que las bobinas se encuentran almacenadas en su posición correcta antes de poner en marcha el puente grúa.

Poner especial atención en colocar las bobinas de la zona de INPUT en su posición adecuada.

5 Mantenimiento

El objetivo de este apartado es recomendar los procedimientos primordiales de mantenimiento mecánico del puente grúa. Para que la máquina se conserve confiable, es de suma importancia seguir un plan regular de mantenimiento preventivo.

Todos los elementos deben ser probados sin carga para comprobar el nivel de ruido excesivo, vibraciones, uniformidades de aceleraciones y funcionamiento, seguridad en las juntas y tornillos de amarre, anclaje…

En las siguientes líneas se indican las inspecciones de cada parte. Las piezas cuyas instrucciones de mantenimiento indican que deben ser inspeccionadas tanto diaria como semanalmente, breve examen todos los días y serán inspeccionadas a fondo cada semana. Esto es válido también para otros casos similares donde se indican dos periodicidades de inspección.

El objetivo de las inspecciones diarias reside en detectar los defectos evidentes en las piezas más importantes, así como la limpieza y engrase cuando sea necesario.

En caso de reparaciones eventuales, atender a los siguientes cuidados:

- Asegurarse de desconectar totalmente la máquina y si fuera necesario los dos cables principales de alimentación de corriente.

- Aislar el espacio comprendido por la zona de trabajo rotulando claramente “ZONA DE PELIGRO, GRÚA EN REPARACIÓN”.

- Los trabajos se efectuarán siempre después de informar a la persona responsable.

- Cuando fuera posible, posicionar la grúa en el extremo de las vigas carrileras para facilitar el acceso de los operarios de mantenimiento.

- Al término de la reparación y después de la verificación por la persona responsable de la fábrica, se podrá continuar con el normal funcionamiento de la grúa, informando de las tareas realizadas y haciendo constar en el libro todo lo relativo a la tarea realizada:
    - Tiempos de parada
    - Descripción de la avería
    - Causas de la avería
    - Recambios utilizados
    - Persona/s encargadas de realizar el mantenimiento
    - Fecha de realización

- Las maniobras de pruebas correspondientes solo podrán ser ejecutadas por los operadores de la grúa.

5.1 Pistas de rodadura

La inspección y mantenimiento de las vías y carriles es importantísimo para la conservación en perfectas condiciones de las ruedas de traslación, de los mecanismos y de la estructura.

Además de las inspecciones regulares, se debe examinar los carriles inmediatamente después de cualquier indicio de trepidación, o cuando haya un desgaste excesivo de los aros o pestañas de las ruedas.

5.2 Gancho

Debe ser mantenido en buen estado y verificar que no tenga fisuras o mordeduras.

Inspeccionar el anillo giratorio y los rodamientos.

Inspeccionar las poleas del gancho.

Limpiar el interior de las cubiertas del fondo de las poleas, caso que existan, evitando que se impregnen de polvo.

5.3 Poleas y tambor

Es primordial para la vida del cable que el perfil de las gargantas, de las poleas y de las ranuras de los tambores estén siempre en buen estado.

Por esto deben ser inspeccionados periódicamente estas partes, tomando medidas necesarias si fuesen observadas señales de desgaste excesivo o defectos causados por los cables.

También es de gran importancia el correcto enrollamiento de los cables en los tambores, para evitar un dañificado prematuro de los cables, eliminando la tendencia a enrollar incorrectamente.

Inspeccionar la forma que los cables se enrollan durante la rotación, en todo el curso. Si el enrollamiento tiende a ser desordenado, verifique cuidadosamente el motivo:

- Inspeccionar las grapas de los cables en los tambores
- Inspeccionar las ranuras de los tambores.
- Observar si hay desgastes entre las ranuras, en este caso, esmerilar para darles nuevos radios suaves.
- Asegurar que las ranuras no tengan aumentada la profundidad excesivamente.
- Inspeccionar las gargantas de las poleas:
    - Asegurarse de que no hay rayamiento excesivo debido a los cables en las gargantas de las poleas. Si hubiese, eliminar esmerilado o torneado nuevamente.

- Asegurarse de que las gargantas de las poleas no tengan aumentada la profundidad excesivamente debido a desgaste.

- Asegurarse de que los laterales de las gargantas de las poleas no estén desgastados excesivamente.

- Asegurarse de que las esquinas de las gargantas de las poleas no están desgastadas. Si lo estuviesen, esmerilar para darles radios nuevos.

- Comprobar los ruidos y la temperatura de los rodamientos de las poleas.

- Inspeccionar para ver si hay señales de grietas capilares en las poleas y en los tambores.

5.4 Cable

El cable es un elemento especial en esta aplicación, y por tanto requiere de un mantenimiento especial. A fin de evitar roturas es preciso dotar de un mantenimiento y unas verificaciones periódicas al cable, que permita conocer los factores que más influyen en su desgaste y así corregir y disminuir la aparición de éstas.

5.4.1 Engrasado

El engrasado es la parte del mantenimiento con la que se consigue un mayor rendimiento y una vida útil notablemente superior. Es conveniente lubricar cada dos meses con grasa Cálcica Grafitada de VERKOL, con los siguientes beneficios.

- Disminuye la fricción entre los alambres y cordones facilitando el deslizamiento relativo.

- Evita la corrosión del cable.

- Preserva el alma textil.

Para la operación de engrase es necesario primero limpiar con una escoba de acero los restos de grasa anterior y el polvo adherido. Se recomienda realizar el engrase valiéndose de un trapo impregnado de aceite, preferiblemente caliente.

5.4.2 Esquema de defectos del cable y ficha de inspección

Se deben realizar una serie de exámenes rutinarios donde se inspecciones las diferentes partes del cable sobre el aparato. Se deberá rellenar la ficha de inspección de cable que se muestra en la Ilustración 4. Los posibles defectos que considerar son:

1) Inspeccionar el amarre del cable al tambor.
2) Buscar un enrollamiento defectuoso que provoque la deformación (partes aplastadas) y de desgaste que puede ser importante en los lugares de desvío.
3) Examinar la rotura de alambres.
4) Examinar la corrosión.
5) Buscar las deformaciones causadas por una carga intermitente.
6) Examinar la parte que se enrolla en la polea por las roturas de alambres y desgastes.

7) Examinar los puntos de sujeción: verificar roturas de alambres y la corrosión y también la parte del cable en contacto o próxima a las poleas de funcionamiento.
8) Buscar las deformaciones.
9) Verificar el diámetro el cable.
10) Examinar cuidadosamente la parte que se enrolla a través del aparejo, principalmente en el lugar correspondiente a la aplicación de la carga.
11) Buscar las roturas de alambres y de desgaste superficial.
12) Verificar la corrosión.

Máquina:.....Ficha de inspección del cable
Aplicación:.....

Construcción:.....
Dirección de las capas: RH/LH[1)].....

Tipo de capa: ordinaria/de relleno[1)]
Diámetro nominal:.....
Clase de resistencia:.....
Calidad: no galvanizado/galvanizado[1)].....
Tipo de alma: acero/textil/sintética[1)].....
Preformación:.....
Longitud del cable:.....
Tipo de extremo:.....

Fecha de puesta enservicio:.....
Fecha de retirada:.....

Carga mínima de rotura:.....
Carga de trabajo:.....

Diámetro medida:.....
bajo una carga de:.....

Rotura de alambres visibles	Abrasión de alambres exteriores	Corrosión	Disminución del diámetro del cable	Lugar(es) medido(s)	Estimación total	Deterioro y deformaciones
Número en 6d	Grado de alteración[2)]	Grado de alteración	%		Grado de alteración[2)]	Naturaleza

Fecha:..... Firma:.....

Suministrador del cable:..... Número de horas de funcionamiento.....

Otras observaciones:..... Razón de la retirada:.....

Ilustración 4. Ficha de inspección

5.4.3 Sustitución del cable

La sustitución del cable debe efectuarse al apreciar visiblemente:

- Rotura de un cordón.

- Formación de nudos.

- Cuando la pérdida de sección de un cordón del cable, debido a rotura de sus alambres visibles en un paso de cableado alcance el 40% de la sección total del cordón.

- Cuando la disminución de diámetro del cable en un punto cualquiera del mismo alcance el 10% en los cables de cordones o el 3% en los cables cerrados.

- Cuando la pérdida de sección efectiva, por rotura de alambres visibles, en dos pasos de cableado alcance el 20% de la sección total.

5.5 Vigas testeras y carro

5.5.1 Periodicidad en las inspecciones

Objeto	Diario	6 meses	1 año	Método
Funcionamiento freno	X			Test en funcionamiento
Conexiones eléctricas		X		Visual, sin oxidación en tornillos
Ruido		X		Auricular
Espacio de aire del freno			X	Motores
Fuga de grasa motorreduct.			X	Visual
Tornillos de fijación			X	Manual
Desgaste del reductor			X	Visual, manual

Tabla 4. Periodicidad de las inspecciones viga testera

5.5.2 Cambio de grasa de la reductora

La lubricación del motorreductor de la viga testera y el carro es cuatrimestral. Los engranes se lubrican con grasa semifluida. La grasa empleada es RFS/125-3T VERKOL-WG.

Para la realización del cambio de grasa el operario de mantenimiento deberá abrir la caja reductora aflojando el tornillo de la parte inferior. Colocará un cubo de recogida de lubricante desechado para reciclar más adelante. Cerrará el tornillo y verterá nueva grasa hasta la indicación.

5.5.3 Inspecciones y recomendaciones

Inspeccionar el funcionamiento del freno si fuesen observadas señales anormales, abertura o cerrado, imperfecciones, etc. Examinar estos puntos y en caso necesario proceder a su cambio.

Examinar el desgaste del ferodo de los frenos. Con espesores inferiores a 2 mm proceder a su cambio.

Mantener los ferodos del freno libres de aceite.

Examinar el desgaste y las desigualdades de las superficies del ventilador del freno. Con desgaste desigual, corregir el alineamiento del freno. Con desgaste del 30 % del espesor original, cambiar.

Ver si existe alguna señal de mordeduras capilares en las superficies del ventilador. Si hubiese alguna, inspeccionar el funcionamiento del freno y ajustarlo correctamente. Observar cuidadosamente si a pequeños intervalos las mordeduras capilares tienden a crecer, debiéndose cambiar en este caso inmediatamente el ventilador.

Mantener una compresión adecuada de los muelles de freno para adaptarlos a las condiciones de servicio.

Reglaje del entrehierro antes de que su separación sobrepase el máximo establecido (2 mm). Lo normal son 0,3 mm. Esta separación es la que permite el juego entre el electroimán y el freno.

5.5.4 Mantenimiento del motor

Es conveniente hacer revisiones periódicas de los motores, al menos cada 6 meses. Los puntos más importantes que controlar son:

- Limpieza del motor: es importante para la buena refrigeración del motor.

- Ruidos y vibraciones: Tanto los ruidos como las vibraciones son señal de la existencia de problemas tales como desalineación, desequilibrio, problema de rodamientos, etc.

- Entrehierro del freno: Es conveniente comprobar que el valor del entrehierro del freno no exceda el indicado. Con una negligencia en este control podría ocurrir que, por una separación excesiva del entrehierro, el electroimán no fuese capaz de atraer la placa del freno y liberar de esta forma el eje rotor, con lo cual existiría el peligro de quemado del motor.

5.5.5 Ruedas

Regularmente, cada 6 mese, inspeccionar el desgaste y deformación en la superficie de rodadura y marcas en las pestañas. Para ello:

- Realizar un examen visual de las rodaduras para comprobar si existen grietas capilares.

Si hubiese alguna se debe comprobar su tamaño. Observar si la tendencia es a aumentar entre inspecciones, y en caso necesario se debe sustituir la rueda.

Las ruedas motrices deben mantener sus diámetros iguales, debiendo cambiar las dos a la vez, aunque solamente una de ellas esté en condiciones de ser sustituida.

- Comprobar si las rodaduras de las ruedas están debidamente exentas de aceite. Las rodaduras de las ruedas deben estar exhaustivamente secas, lo demás haría que patinasen.

- Examinar el desgaste de las rodaduras de las ruedas.

Como las rodaduras de las ruedas se desgastan lentamente, en caso de que fuese observado un desgaste prematuro, verificar el alineamiento de los elementos del sistema (carrieles, ejes, etc.)

No deberá ser mayor que 0,2 % la diferencia entre diámetros de las ruedas motrices. El desgaste de la rodadura exterior de cada rueda debe ser menor o igual que el 30 % del espesor de origen. Se cuenta el menor de los dos verificados.

5.5.6 Estructura cajón de la viga testera

Una vez por año se debe inspeccionar la estructura de la viga testera para verificar si existe alguna deformación o rotura en esta.

Inspeccionar también las juntas soldadas, para ello asegurarse que no existen indicios de mordeduras capilares.

Verificar el ajuste de los tornillos de la unión.

Pintar nuevamente las partes estructurales del cajón antes de que se oxiden en un 10 % de la superficie pintada.

5.6 Mecanismo de elevación

5.6.1 Inspecciones y recomendaciones para el motor

Si se perciben ruidos o vibraciones durante el funcionamiento del motor, el operario deberá pararlo y localizar las causas. Algunas causas podrían ser el mal ajuste del motor y reductor, o algún problema de rodamiento.

Examinar los protectores contra el polvo de todos los orificios de inspección del motor. Mantenerlos ajustados. En caso necesario emplear aspiradores de polvo para limpiar el interior; no usar soplo de aire comprimido.

Examinar la temperatura de las carcasas de los motores con la mano para análisis rudimentario.

Medir la corriente de las tres fases del estator, elevando la carga nominal. Se comprobará que dicha intensidad corresponde a la reflejada en la placa de características.

5.6.2 Inspección y reglaje del freno

Cuando el polipasto esté en funcionamiento se debe inspeccionar continuamente el funcionamiento del freno. Al arrancar el motor el electroimán atrae la placa de roce ferodo y libera el disco que lleva incorporado al ferodo, el cual no deberá rozar el ventilador, debiendo mantener entre ellos una distancia uniforme.

En cuanto al reglaje, el freno electromagnético de disco de corriente continua va reglado con un entrehierro de 0,3 mm. Inspeccionar el funcionamiento del freno si fuesen observadas señales anormales, abertura o cerrado, imperfecciones, etc. Examinar estos puntos y en caso necesario proceder a su recambio.

Los ferodos deben mantenerse libres de aceite.

5.6.3 Reductora

El reductor debe ser utilizado dentro de las características, límites y condiciones de trabajo para las cuales fue diseñado. La superación de estos límites implica comprometer mecánica y térmicamente el equipo y por consiguiente dañar sus elementos. Las exigencias por encima de lo establecido reducen la vida útil del elemento.

Se deben inspeccionar cuidadosamente los engranajes y los reductores de velocidad, siempre que se note algún ruido extraño o cuando se observe un aumento de la temperatura significativo. Se recomienda al abrir las tapas de inspección de la reductora de velocidad que la grúa esté en un lugar donde no haya mucho polvo.

5.6.3.1 Lubricación

Por baño o salpicadura: con este sistema los engranajes están lubricados por inmersión parcial en aceite y los rodamientos mediante salpicadura que los engranajes provocan en su rotación. De esta manera todas las superficies en contacto, con movimiento relativo (engranajes y rodamientos), son alcanzados por un amplio flujo de aceite en constante renovación.

Periodicidad: Es necesario un cambio de grasa cada 6 meses.

Grasa: VERKOL WG.

5.6.3.2 Normas de inspección

Observar el ruido de los engranajes en vacío y con carga. Si hubiese algún ruido extraño, inspeccionar los dientes de los engranajes, los tornillos de la unión y fijación de la reductora y los rodamientos. Examinar también la lubricación.

Examinar la temperatura del aceite. La temperatura máxima no debe exceder los 60ºC. Para ensayos aproximados en la reductora verificar con el tacto.

Comprobar el nivel de aceite conforme establece el fabricante y examinar la limpieza de éste. Así mismo, evitar las fugas de aceite.

- Procurar no llenar excesivamente de aceite.

- Inspeccionar los retenes de aceite y cambiarlos cuando sus bordes estén dañados.

Inspeccionar los dientes de los engranajes.

- Desgaste de los dientes de la rueda dentada, piñón y espesor. Límite admisible 10% del espesor original.

- Comprobar si existen algunas señales anormales, tales como picado o rayados en los dientes de los engranajes.

- Inspeccionar los tornillos de fijación de la reductora.

5.6.3.3 Fallos críticos de la reductora

Fallos por calentamiento excesivo. Comprobar:

- Está sobrecargada la unidad.
- Nivel, estado y grado de aceite.
- Rodamientos. Estos no deben estar ajustados. Todos los ejes deben girar libremente al conectar la carga.
- Retenes de aceite. Los retenes deben ser engrasados, aplicar desde el exterior pequeñas cantidades de grasa en todos los bordes de los retenes.
- Alineamiento de los ejes

Rotura del eje. Comprobar:

- Alineamiento de los acoplamientos.
- La unidad está sobrecargada.
- El apoyo del soporte está desalineado.

Fallos en rodamientos. Comprobar:

- Alineamiento de los acoplamientos.
- Rodamientos correctamente ajustados y lubricados.
- Formación de óxido.

Vaciamiento del aceite. Comprobar:

- Nivel del aceite
- El respiradero debe estar abierto y limpio.
- El desgaste de los retenes. Pequeñas pérdidas son normales para minimizar el calor y la fricción.
- Excesiva lubricación en los rodamientos.
- Drenajes, niveles y accesorios. Reapretar y sellar las juntas, limpiando previamente las superficies.
- Las juntas a presión deben estar ajustadas perfectamente.

Desgaste de engranajes. Comprobar:

- Nivel, estado y grado de aceite.
- Alineación de los acoplamientos.
- Ajuste de los rodamientos.
- Sobrecarga en la unidad.
- Formación de óxido.
- Para desgastes excesivos y rotura de dientes, ruidos, etc. Realizar análisis junto al suministrador.

5.7 Garra

5.7.1 Mantenimiento semanal

La garra es uno de los sistemas más susceptibles de llevar a cabo un mantenimiento, pues de ella depende el éxito de la aplicación. Los encargados de la sección del puente grúa deben prestar especial atención a los siguientes elementos:

- BRAZOS: verificar que permanecen en buen estado y no sufren deformaciones causados por golpes o aplastamientos.
- DESLIZADERA: comprobar que se mantiene lubricada y que el movimiento de los brazos es progresivo y sin tirones.
- PIÑÓN-CREMALLERA: verificar que el engrane entre ambos es el correcto (evitar holguras). También se debe comprobar que permanecen engrasados.
- SENORES: Atestiguar su buen funcionamiento durante la operatividad de la máquina.

Por tanto, estas revisiones se les adjudican a los operarios de planta, ya que son comprobaciones que se pueden realizar desde el puesto de trabajo, llevando un control mucho más continuado y exhaustivo. Al finalizar la semana laboral, deberán emitir un informe respondiendo a tales verificaciones.

El mantenimiento de la reductora es similar a la del resto de reductoras instaladas en el PG y su mantenimiento lo realiza el equipo de mantenimiento.

5.7.2 Servomotores

El accionamiento de los brazos es originado dos servomotores. Al contrario que los motores síncronos estudiado en apartados anteriores, las pautas de mantenimiento de este elemento se rigen por lo siguiente.

- En condiciones normales de operación, los rodamientos deben ser sustituidos a cada 20.000 horas de trabajo.
- Inspección de entrada del motor y toma de datos, realizando la verificación del codificador.

- Verificación de las conexiones, rizado, imanes estator (magnetización) si fuera necesario cambio de esta.

- Control de conectores y conexiones de la placa de bornes.

- Análisis de vibraciones. En caso de que fuesen desfavorables, equilibrado del rotor.

- Verificación de los imanes del estator, realizando la magnetización de éste si fuese necesario.

- Control del par del freno.

- Limpieza de todas las piezas y accesorios del motor.

- Control de todas las partes mecánicas del motor (eje, chavetero, alojamiento de rodamientos, etc.).

- Verificación del bobinado del rotor. Si fuera necesario, impregnación con barniz epoxy y secado al horno.

- Verificación de las escobillas, cambiándolas si fuera necesario.

- Ajuste del freno en caso de que no operase con regularidad.

5.8 Plan de mantenimiento

5.8.1 Verificación diaria

- Frenos: Verificar el buen funcionamiento de los frenos.
- Interruptores fin de carrera: Verificar su buen funcionamiento.
- Cable de acero: Verificar su estado, si existe ruptura de hilos y si está bien lubricado.

5.8.2 Verificación periódica

TRABAJOS PARA EFECTUAR	Primeras revisiones		Intervalos de las revisiones		
	3 meses	6 meses	3 meses	6 meses	12 meses
Reductores de la garra, elevación, dirección y traslación					
Control del nivel de aceite			x		
Cambio de aceite				x	
Freno de elevación					
Medir el juego de freno y regularlo si es necesario	x			x	
Observar el desgaste del disco de freno y cambiarlo si procede	x			x	
Frenos de garra, dirección y traslación					
Medir el juego de freno y regularlo si es necesario		x			x
Observar el desgaste del disco de freno y cambiarlo si procede		x			x
Cable guía y muelle guía					
Grapas y estado de sujeción de las mismas		x		x	
Engrase		x		x	
Verificación del estado de desgaste de la guía	x			x	
Verficación del estado del muelle de la guía	x			x	
Aparejos y poleas					
Verificación del gancho y la lengüeta		x			x
Observación de desgaste de poleas del aparejo y reenvío, así como de los rodamientos que lleva		x			x
Limitador de carga, encoders y finales de carrera					
Verificación de su buen funcionamiento	x				x
Ruedas y raíles					
Verificar desgaste de ruedas, estado de los rodamientos, estado de la rodadura y estado de los topes		x			x
Ejes y piñones de la transmisión del carro					
Verificación de su estado, holguras y rodamientos		x			x
Ejes, piñones y rodamientos de la garra					
Verificación de su estado, holguras y rodamientos		x			x
Deslizadera de los brazos					
Verificar desgaste superficial			x		

Manguera de alimentación y carro portacables					
Verificación de su estado		x			x
Borneros y empalmes					
Verificación de su estado		x			x
Pulsadores					
Verificar el buen estado de manguera y pulsadores, así como su correcto funcionamiento		x			x
Ruidos					
Verificar que no existen ruidos extraños en el funcionamiento de los motores, reductores y demás elementos del polipasto y la garra		x			x

Tabla 5. Verificaciones periódicas

5.9 Engrase

Todos los rodamientos tanto de ruedas como de poleas son de engrase de por vida.

Todos los reductores van en cárter cerrado con una lubricación mediante grasa fluida, con una lubricación tipo barboteo.

El resto de los elementos se engrasan según muestra la tabla.

TABLA DE ENGRASE			
PUNTO DE ENGRASE	**TIPO DE LUBRICACIÓN**	**TIPO DE LIBRICANTE**	**PERIODCIDAD**
Reductor de elevación	Barboteo	VERKOL WG	6 meses
Reductor de dirección			6 meses
Reductor de traslación			6 meses
Reductora de la garra			6 meses
Cable	Pincel	VERKOL CALCITA GRAFITADA	2 meses
Tambor			2 meses
Guía del cable			2 meses
Rodamiento axial del gancho		VERKOL Grasa RF-3	4 meses
Engranajes de la transmisión del carro		COBERTONE -1	4 meses
Mecanismo piñón-cremallera			2 meses
Deslizadera	Espray	Kraft M112963	1 meses

Tabla 6. Engrase

5.10 Incidentes y reparaciones

Todas las reparaciones y servicios de mantenimientos deben ser realizados por el equipo de mantenimiento de la empresa. A modo de orientación de las posibles averías, se presenta la siguiente tabla, que aglutina la relación de las principales averías, sus causas u sus soluciones.

Mecanismos	Averías	Posibles causas	Soluciones
Elevación	La grúa no hace ningún movimiento	Fallo en la alimentación eléctrica Fusible de entrada Fallo en la instalación Fusible de control Limitador F.C.	Comprobar: Tensión entrada armario Comprobar: Fusibles de entrada Comprobar: La instalación Comprobar: Fusibles de control Comprobar: Seta de emergencia Mirar posición de encoder y F.C. de seguridad
	El motor de elevación del polipasto zumba pero no gira	Algún fusible quemado Electroimán no funciona Contactor falla en una fase	Comprobar: Fusible de elevación Comprobar: Electroimán Comprobar: Tensión de salida contactores
	Salta el diferencial magnetotérmico	Posible derivación a tierra del motor Posible derivación a tierra del electroimán	Comprobar: Derivación al motor Comprobar: Derivación al electroimán
	El motor funciona, pero muy despacio	Magnetotérmico de levación disparado Fallo del control de freno	Comprobar: Magnetotérmico de elevación Comprobar: Control del freno
	En bajada se desliza la carga	Fallo del freno de elevación	Comprobar: Estado disco de freno
	El gancho sube en exceso y bloque toda la carga	Disparo F.C. de seguridad	Comprobar: Encoder de subida Comprobar: F.C. de subida Comprobar: Contactor subida (pegado)
	La altura de posicionado no es la correcta	Fallo del encoder	Comprobar: valor de salida del encoder
	Se ha torcido el aparejo del gancho y el cable	El cable tiene una torsión	Quitar la torsión del cable Cambiar el cable en caso de deterioro
	Se ha desenrollado el cable en el tambor	Fallo de la guía Fallo del cable	Comprobar: Guía del cable Comprobar: Cable de acero
Traslación del carro	El carro no se desplaza	Fallo en el motor Fallo en la instalación F.C. disparado	Comprobar: Tensión del motor, si no llega comprobar la instalación Comprobar: Posición encoder Comprobar: Posición F.C.
	El carro se desplaza muy lento	Fallo en fases de motor Fallo del freno Fallo de posición del encoder	Comprobar: Tensión en el motor Comprobar: Electroimán Comprobar: Rectificador del freno Comprobar: Posición encoder
	La frenada es larga	Disco de freno	Comprobar: Ferodo del freno Comprobar: Muelles de freno Regular: Tuerca de reglaje freno
	El carro no se posiciona corectamente	Fallo del encoder	Comprobar: valor de salida del encoder
	El motor gira, pero no transmite movimiento	Avería en la caja reductora	Comprobar: estado de la reductora

Traslación del puente	El puente no se desplaza	Fallo en los motores Fallo en la instalación F.C. disparado	Comprobar: Tensión del motor, si no llega comprobar la instalación Comprobar: Posición encoder Comprobar: Posición F.C.
	El puente se cruza al arrancar	Fallo en uno de los motores Fallo en uno de los electroimanes Fallo en una de las reductoras	Comprobar: Tensión en el motor Comprobar: Electroimán y rectificador Comprobar: Transmisión de reductora a rueda
	El puente se desplaza muy lento	Fallo en fases de motor Fallo del freno Fallo de posición del encoder	Comprobar: Tensión en los motores Comprobar: Electroimán Comprobar: Rectificador del freno Comprobar: posición Encoder
	La frenada es larga	Disco de freno	Comprobar: Ferodos del freno Comprobar: Muelles de freno Regular: Tuercas de reglaje freno
Garra	Un brazo no se desplaza	Fallo en los servos Fallo en la instalación F.C. disparado Sensor que no detecta Holgura piñón-cremallera Dobladura del brazo	Comprobar: Tensión del motor, si no llega comprobar la instalación Comprobar: Posición encoder Comprobar: Posición F.C. Comprobar: sistema de engrane Comprobar: funcionamiento sensores Comprobar: estado brazo
	El brazo se desplaza muy lento	Fallo en fases de motor Fallo del freno Fallo de posición del encoder Deslizadera desajustada Falta de engrase	Comprobar: Tensión en los motores Comprobar: Electroimán Comprobar: Rectificador del freno Comprobar: posición Encoder Comprobar: separación entre deslizaderas Comprobar: grasa superficial

Tabla 7. Averías y reparaciones

ESTUDIO BÁSICO DE SEGURIDAD Y SALUD

Puente grúa automatizado

803-G

Autor: Manuel Marín Uyarra

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

1 Seguridad y salud en puesta en obra

El objetivo de este apartado es definir un nivel de seguridad para el proceso constructivo elegido, que permita, mediante la correcta actuación de los intervinientes en la obra, salvaguardar la seguridad y salud de los trabajadores.

Con ello se pretende conseguir el documento más adecuado para, mediante su conversión en un plan de seguridad y salud:

- Informar a los trabajadores de las medidas a adoptar en casos de emergencia, los posibles riesgos laborales, así como de las acciones preventivas necesarias para evitarlos o reducirlos a un nivel aceptable.

- Definir la implantación en obra de una gestión preventiva eficaz.

1.1 Estudio básico de seguridad y salud

En cumplimiento con lo dispuesto en el Artículo 4 del Real Decreto 1627/1997, de 24 de octubre, por el que se establecen disposiciones mínimas de seguridad y salud en las obras de construcción, y teniendo en cuanta que:

- El Presupuesto de Ejecución por Contrata incluido en el proyecto asciende a 37.754,37 € y por tanto no se superan los 450.759,08 €.

- El plazo de ejecución estimada de las obras es de 17 días, por tanto, inferior a 30 días laborables, y que en ningún caso se empleará a más de 6 trabajadores simultáneamente.

- El volumen de mano de obra estimada, entendiendo por tal la suma de los días de trabajo del total de los trabajadores en la obra, es de 90 jornales por tanto inferior a 500.

- No se trata de obras de túneles, galerías, conducciones subterráneas o presas.

No se cumple ninguno de los cuatro apartados señalados por la norma, y por tanto no es obligatorio que en la fase de redacción del proyecto se elabore un Estudio de Seguridad y Salud. Sin embargo, el promotor (empresa MUYAR.SA) está obligado a que en fase de redacción del proyecto se elabore un Estudio Básico de Seguridad y Salud (EBSS). El EBSS es un documento singular con entidad propia por lo que se incluye como documento separado de la memoria, anexos y pliego de condiciones.

Este EBSS contempla la identificación de los riesgos laborales que puedan ser evitados, indicando las medidas técnicas necesarias para ello; la relación de los riesgos laborales que no pueden eliminarse conforme a lo señalado anteriormente, especificando las medidas preventivas y protecciones técnicas tendentes a controlar y reducir dichos riesgos y valorando su eficacia.

1.2 Acciones preventivas

1.2.1 Formación

Los trabajadores deben llegar a obra con la mínima formación exigible en materia de prevención de riesgos laborales. Esta formación se continuará en obra a través de las instrucciones y recomendaciones del personal encargado de la seguridad en la obra.

El contenido de la formación deberá ser fácilmente comprensible para los trabajadores. Deberá permitirles adquirir los conocimientos y competencias necesarios en materia de prevención y de seguridad.

Los trabajadores que operen desde plataformas elevadoras de tijeras deben acreditar que dominan los conocimientos básicos necesarios en cuanto a normas generales y específicas de seguridad y prevención en trabajos en altura y en el desempeño de trabajos realizados manejando plataformas elevadoras.

1.2.2 Información

Se informará a todo el personal de obra, antes o en el momento de su incorporación, de:

- Normas básicas de actuación en el caso de evacuación.

- Los riesgos que afectan a su puesto de trabajo y las protecciones y medidas preventivas conducentes a eliminarlos o reducirlos a un nivel aceptable.

- Las medidas preventivas correspondientes a equipos de protección individual, maquinaria, medios auxiliares y protecciones colectivas.

Específicamente se adoptarán las medidas necesarias para que los trabajadores y sus representantes reciban información detallada y suficiente sobre:

- Las disposiciones relativas a las prohibiciones y a la evaluación y control del ambiente de trabajo.

- Las medidas de higiene que deben ser adoptadas por los trabajadores, así como los medios que el empresario debe facilitar a tal fin.

- La utilización y obligatoriedad, en su caso, de la utilización de los equipos de protección individual y de la ropa de protección y el correcto empleo y conservación de los mismos.

Además de las medidas a que se refiere el apartado anterior, se informará a los trabajadores y a sus representantes sobre:

- Los resultados obtenidos en las evaluaciones y controles del ambiente de trabajo efectuados y el significado y alcance de los mismos.

- Los resultados no nominativos de la vigilancia sanitaria específica frente a este riesgo.

1.2.3 Plan de emergencia

En previsión de una situación de emergencia, de acuerdo con la Ley 31/1995 se han considerado los siguientes puntos:

- Designación del personal encargado de poner en práctica las medidas en materia de primeros auxilios. En caso de accidente, el responsable de la evacuación será en primer lugar el Jefe de Obra, y en su ausencia el encargado de obra de mayor experiencia.

- Comprobación periódica del correcto funcionamiento de estas medidas. Se comprobará:

  - Que se ha hecho la designación personal del encargado de poner en práctica las medidas preventivas.

  - La correcta ubicación de los teléfonos de contacto para casos de urgencias.

  - Que se ha recibido una formación mínima para actuaciones en caso de urgencias.

- Organización de las relaciones que sean necesarias con servicios externos para garantizar la rapidez y eficacia de las actuaciones.

- Formación adecuada del personal, y en número suficiente, así como disponer de material adecuado, todo ello en función de los riesgos. Para esta obra se considera material de primeros auxilios un botiquín con los medios para efectuar las curas de urgencia en caso de accidente.

1.2.3.1 Primeros auxilios

Se garantizará que los primeros auxilios puedan prestarse en todo momento por personal con la suficiente formación para ello. Asimismo, deberán adoptarse medidas para garantizar la evacuación, a fin de recibir cuidados médicos, de los trabajadores accidentados o afectados por una indisposición repentina.

1.2.3.2 Botiquín

Se dispondrá de un botiquín con los medios para efectuar las curas de urgencia en caso de accidente conteniendo todos los artículos que se especifican a continuación: agua oxigenada; alcohol de 96 grados; tintura de iodo; mercurocromo o cristalmina; amoniaco; gasa estéril; algodón hidrófilo estéril; esparadrapo antialérgico; torniquetes antihemorrágicos; bolsa para agua o hielo; guantes esterilizados; termómetro clínico; apósitos autoadhesivos; antiespasmódicos; analgésicos; tónicos cardiacos de urgencia y jeringuillas desechables.

El botiquín estará a cargo de personas capacitadas designadas por la empresa.
Se revisará periódicamente su contenido y se repondrá inmediatamente lo usado.

Ilustración 1. Botiquín de emergencia

1.2.3.3 Normas de evacuación

- En caso de accidente, el responsable de la evacuación será el encargado de obra, y en su ausencia el oficial de mayor experiencia.

- Oír la señal de ALARMA es oír la orden de evacuación.

- Todos los posibles recorridos de evacuación deben conducir hasta el Punto de Reunión, que será el lugar inmediato a la salida de la planta industrial.

- Deje todo lo que esté haciendo, abandone sus herramientas o equipos donde no estorben. No pierda el tiempo recogiendo sus pertenencias.

- Compruebe que no queda nadie en el área de obra del puente grúa.

- Siga las indicaciones del encargado de obra o persona que lo sustituya.

- Mantenga el orden y la calma.

- Colabore activamente en la evacuación (ayude a otras personas que necesiten ayuda o que no se han enterado de la señal de alarma).

- En las vías de evacuación deje espacio libre para el paso de personas heridas, camillas, etc.

- NO corra riesgos personales.

- NO realice actuaciones de forma individual sin comunicarlo, pida ayuda.

- NO permanezca en las vías de evacuación, acuda lo antes posible al punto de reunión.

- NO corra en la evacuación.
- NO empuje ni forme aglomeraciones.
- NO regrese bajo ningún concepto.

1.2.3.4 Apoyo exterior

En lugar visible se dispondrá de un cartel con el listado de direcciones y teléfonos de interés entre las que se incluirán:

- Teléfono de emergencias: 112
- Bomberos: 080
- Policía Local: 092
- Policía Nacional: 091
- Guardia Civil: 062

1.2.4 Vallado y señalización

Resulta especialmente importante restringir el acceso al área donde se realiza la obra a personal no autorizado, de manera que todo el recinto de la obra, en cuyo entorno se crean los riesgos derivados de la misma, quede inaccesible para personas y trabajadores ajenos a la obra.

Del mismo modo es necesaria la instalación de un mínimo de elementos de señalización que garanticen la presencia de informaciones básicas relativas a la Seguridad y Salud en diversos puntos de la obra. Para ello se instalarán las siguientes medidas de cierre y señalización:

- Vallado perimetral con cinta amarilla de precinto.
- Señalización mediante paneles en el acceso del área que comprende la obra con los pictogramas indicados y como mínimo señales de "Prohibido el acceso a personal no autorizado", "Uso obligatorio del casco" y pictogramas y textos de los riesgos presentes en la obra.
- Cartel informativo ubicado en un lugar preferente de la obra en el que se indiquen los teléfonos de interés de la misma y en el que como mínimo aparezcan reflejados los teléfonos de urgencia: servicios sanitarios, bomberos, policía, centros asistenciales, instituto toxicológico y los teléfonos de contacto de técnicos de obra y responsables de la empresa contratista y subcontratistas.

Ilustración 2. Señalización de "PROHIBIDO EL PASO"

1.3 Riesgos laborales que pueden ser evitados

No se han identificado riesgos totalmente eliminables. Se considerará que sólo existen riesgos no evitables por las siguientes razones:

- Por la gran cantidad de factores de todo tipo que pueden alterar el entorno de cualquier puesto de trabajo en una obra.

- Por opinar que, desde la redacción de este documento, no se puede garantizar la correcta aplicación de una medida técnica cuando hay que considerar que el trabajador encargado de ejecutarla podrá cometer algún tipo de acto imprudente (LEY 31/1995, Art 15.4.).

Por tanto, se considera que los únicos riesgos eliminables totalmente son aquellos que no existen al haber sido eliminados desde la propia concepción de la máquina o puente grúa, por el empleo de procesos constructivos, maquinaria, medios auxiliares o incluso medidas del propio diseño del proyecto que no generen riesgos y sin duda estos riegos no merecen de un desarrollo detenido en este estudio.

1.4 Riesgos, prevención y protecciones en los procesos constructivos

Se listan la relación de riesgos asociados a los procedimientos constructivos que atañan mayor peligro desarrollados en este proyecto.

1.4.1 Corte de la solera con la máquina cortajuntas

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
-Cortes o golpes -Contactos eléctricos al arrancar la máquina -Sobreesfuerzos -Proyecciones de sólidos durante la operación -Atrapamiento por objetos -Cuerpos extraños en los ojos -Ruido -Polvo	-Zona de trabajo acotada y señalizada -Inspección visual de la zona -Inspección y mantenimiento previo a la puesta en marcha de la herramienta.	INDIVIDUALES: -Casco homologado -Gafas protectoras -Protectores auditivos -Calzado protector -Guantes protectores -Ropa de trabajo COLECTIVAS: -Señales de obra -Cartel indicativo de riesgo

1.4.2 Demolición de solera de hormigón

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
-Magulladuras y aplastamientos -Atropellos y colisiones -Proyección de partículas -Sobreesfuerzos -Ruido -Polvo -Golpes, pinchazos y cortes con máquinas.	-El movimiento de maniobra de la máquina, así como su carga y descarga al trasladarla serán dirigidos por personas cualificadas. -Deberá evitarse la formación de polvo regando ligeramente los elementos o escombros. -El área de trabajo debe estar acotada y señalizada. -Especial cuidado con la proyección de partículas	INDIVIDUALES: -Casco homologado -Gafas protectoras -Protectores auditivos -Calzado protector -Guantes protectores -Mascarilla antipolvo COLECTIVAS: -Riego mediante camión cisterna -Cartel indicativo de riesgo

1.4.3 Excavación por medios manuales

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
-Desprendimientos y atrapamientos -Magulladuras y aplastamientos -Caída de piedras -Cortes, pinchazos y golpes con maquinaria y herramientas -Sobreesfuerzos -Atropello y colisiones -Ruido -Polvo -Golpes, pinchazos y cortes con máquinas.	-Al tratarse de zanjas de menos de 0,8 m no es necesario ataluzar las paredes o la entibación. -La obra permanecerá en todo momento limpia de tierra, áridos y cascotes desprendidos y sobrantes para que no originen riesgos a las personas ni provoquen una perturbación en la producción normal de la fábrica.	INDIVIDUALES: -Casco de seguridad -Gafas contra impactos -Protectores auditivos -Calzado protector -Guantes protectores -Protección vías respiratorias COLECTIVAS: -Señales de obra -Cordón de delimitación de zona de trabajo

1.4.4 Cimentaciones

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
-Aplastamiento y magulladuras -Sobreesfuerzos -Atropellos y colisiones -Vuelcos y deslizamientos -Ruido -Polvo	-En operaciones de este tipo (encofrados, vertidos de hormigón) se deben habilitar medios auxiliares de trabajo. -En la descarga de hormigón desde camión, todo el personal se mantendrá alejado de la zona de acción. -Se utilizará cimbra metálica tubular u otra estructura equivalente capaz de soportar las solicitaciones requeridas.	INDIVIDUALES: -Casco de seguridad -Cinturón de seguridad -Protectores auditivos -Calzado protector -Guantes protectores -Protección vías respiratorias COLECTIVAS: -Señales de obra

1.4.5 Instalación de la estructura (pilares y vigas carrileras)

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
-Cortes con las piezas por rebabas. -Golpes con el material en movimiento. -Riesgos derivados de las operaciones de soldadura y corte. -Caídas a distintos niveles. -Caídas de objetos desprendidos. -Contactos eléctricos o Electrocuciones. -Proyecciones de metales incandescentes. -Caídas desde altura. -Heridas punzantes, cortaduras y rozaduras.	-Utilizar en obra plataformas elevadoras auto propulsadas para la instalación y soldadura de los elementos verticales y horizontales, previa nivelación de los mismos. -Instalar redes de protección verticales en el exterior y horizontales en el interior con la incorporación de placas protectoras para la recogida de partículas incandescentes. -Instalar "líneas de vida" con elementos de amortiguación a los que poder anclar el arnés de seguridad. -El manejo de la grúa por persona especializada y con carné, izado y guiado de las cargas con cuerdas o cables por dos personas y presencia de señalista, si es necesario. -La utilización de accesorios de izado: ganchos con pestillo, cadenas, cables, y eslingas normalizadas, con Marcado CE y adecuadas a las cargas a soportar. -El acotado de los niveles inferiores. -Uso de cinturón portaherramientas y amarrándolas a la barquilla de la plataforma.	INDIVIDUALES: -Casco homologado. -Gafas protectoras homologadas. -Arnés de seguridad -Protectores auditivos. -Calzado protector homologado. -Guantes protectores. -Chaleco Reflectante -Ropa de Trabajo. COLECTIVAS: -Vallas de señalización metálicas. -Cartel indicativo de riesgo.

1.4.6 Montaje de la viga principal, el polipasto y la garra

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
-Golpes con el material en movimiento. -Caídas a distintos niveles. -Caídas de objetos desprendidos. -Contactos eléctricos o Electrocuciones. -Caídas desde altura. -Heridas punzantes, cortaduras y rozaduras. -Cortes con las piezas por rebabas.	-En las operaciones de descarga desde camión grúa y/o izado de la viga principal o polipasto, todo el personal se mantendrá alejado de la zona de acción de la grúa. -Utilizar en obra plataformas elevadoras auto propulsadas para la instalación y fijación de la viga principal y el polipasto una vez el puente ha izado a su posición. -Instalar "líneas de vida" con elementos de amortiguación a los que poder anclar el arnés de seguridad. -El acotado de los niveles inferiores. -Uso de cinturón portaherramientas y amarrándolas a la barquilla de la plataforma.	INDIVIDUALES: -Casco homologado. -Gafas protectoras homologadas. -Protectores auditivos. -Calzado protector homologado. -Guantes protectores. -Chaleco Reflectante -Ropa de Trabajo. COLECTIVAS: -Vallado de protección -Cartel indicativo de riesgo.

1.4.7 Instalaciones eléctricas

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
- Electrocuciones. - Fibrilación ventricular. - Asfixia. - Quemaduras y daños oculares. - Proyecciones de metales incandescentes. - Caídas desde altura. - Heridas punzantes, cortaduras y rozaduras. - Colisiones y vuelcos.	- Abrir con corte visible todas las fuentes de tensión del punto a trabajar, verificando que no hay tensión de retorno. - Enclavar o bloquear el equipo de corte, y si no es posible, señalizar tal circunstancia en el dispositivo de mando. Llevarse los cartuchos fusibles es una buena medida para evitar que alguien pueda poner en tensión la instalación. - Reconocimiento de la ausencia de tensión mediante la comprobación en todos los conductores, bien con voltímetro o lámpara de prueba. - Cortocircuitar los conductores activos y conectar el punto de cortocircuito a tierra. - Acotar la zona de trabajo mediante señales.	INDIVIDUALES: - Casco dieléctrico homologado. - Oculares filtrantes. - Impermeables de una sola pieza. - Guantes dieléctricos de una sola pieza. - Herramientas con protección dieléctrica homologadas. - Calzado dieléctrico homologado. - Guantes de cuero. COLECTIVAS: - Cables de tierras y aisladores eléctricos de elementos y apoyos de la conducción eléctrica. - Utilización de paneles aislados y protegidos mecánicamente en los cuadros de mando eléctricos. - Señalización de seguridad. - Utilización de paneles aislados y protegidos mecánicamente en los cuadros de mando.

1.5 Riesgos, prevención y protecciones con la maquinaria

Se analizan en este apartado los riesgos que en general, comporta la utilización en obra de maquinaria muy diversa.

1.5.1 Maquinaria auxiliar

Esta comprende la taladradora, la radial, la sierra circular o la máquina eléctrica de soldar.

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
-Golpes contra objetos. -Heridas y cortes en manos. -Proyección de piezas fragmentadas. -Lesiones en ojos. -Contacto eléctrico. -Radiaciones.	-Manejo de máquinas por personas especializadas. -Emplear cada máquina en los trabajos específicos para los que fue diseñada. -No quitar las protecciones o carcasas de protección que llevan incorporadas. -Revisión y comprobación del estado de las máquinas y de sus elementos (discos, cuchillas, sierras circulares, etc.)	-Casco de seguridad. -Gafas antiimpactos. -Guantes de cuero o neopreno. -Mascarilla antipolvo. -Pantallas, etc.

Ilustración 3. Radial

Ilustración 4. Soldadura

1.5.2 Camión grúa

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
-Atrapamientos. -Atropello de personas. -Desplome de la carga. -Golpes por la carga a paramentos (verticales u horizontales). -Vuelco del camión. -Caídas al subir (o bajar) a la zona de mandos	-Antes de iniciar las maniobras de carga, se instalarán calzos inmovilizadores en las cuatro ruedas y en los gatos estabilizadores. -Las maniobras de carga y descarga serán dirigidas por especialistas, en prevención de riesgos por maniobras incorrectas. -Los ganchos de cuelgue estarán dotados de pestillos de seguridad. -No se sobrepasará la carga máxima admisible fijada por el fabricante del camión. -El gruista tendrá en todo momento a la vista la carga suspendida. Si esto no fuera posible, las maniobras serán dirigidas por un señalista. -Se prohíbe estacionar o circular con el camión a distancias inferiores a 2 metros de corte de terreno. -No realizar nunca arrastres de carga o tirones sesgados. -Se prohíbe la permanencia de personas en torno al camión, a distancias inferiores a 5 metros. -No permanecerá nadie bajo las cargas en suspensión. -No dar marcha atrás sin la ayuda del señalista. -No se abandonarán nunca el camión con una carga suspendida. -Ninguna persona ajena al operador accederá a la cabina o manejará los mandos. -Todos los ganchos de los aparejos, balancines, eslingas o estribos poseerán pestillo de seguridad.	<u>INDIVIDUALES:</u> -Casco de seguridad (siempre que abandone la cabina). -Guantes de cuero. -Calzado de seguridad antideslizante. -Ropa de trabajo. -Chaleco Reflectante. <u>COLECTIVAS:</u> -Señalización de seguridad.

1.5.3 Plataforma elevadora de tijera

RIESGOS	PREVENCIÓN	PROTECCIONES
-Atropellos. -Golpes. -Choques con otros vehículos. -Vuelco de la plataforma. -Caída a distinto nivel. -Aplastamiento. -Contacto eléctrico directo. -Contacto eléctrico indirecto. -Incendio. -Explosión. -Efecto vela.	-Situar, en caso necesario, las protecciones adecuadas respecto a la zona de circulación de peatones, trabajadores o carretillas elevadoras. -Conocer el lugar de trabajo, especialmente el tipo de terreno, presencia de líneas eléctricas aéreas y puntos donde puedan existir restricciones de altura, anchura o peso. -No añadir elementos sobre la plataforma que puedan aumentar la resistencia a la fuerza del viento (carteles, lonas, etc.) -Cotejar la posible existencia de líneas eléctricas y que medidas preventivas se han adoptado para evitar el contacto con dichas líneas (desviación, protección, señalización, etc.)	<u>INDIVIDUALES:</u> -Ropa de trabajo con puños ajustables. -Calzado protector homologado. -Guantes protectores. -Cinturones y arneses de seguridad con dispositivo anticaída. <u>COLECTIVAS:</u> -Cartel indicativo de riesgo.

Ilustración 5. Plataforma elevadora de tijera

MEDICIONES

Puente grúa automatizado

803-G

Autor: Manuel Marín Uyarra

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

ÍNDICE DE CONTENIDO

1 Objeto

El presente documento tiene como finalidad definir y determinar las unidades de cada partida o unidad de obra que configuran la totalidad de la puesta en obra del puente grúa. Estas partidas o unidades de obra se refieren a cada uno de los subprocesos de construcción.

Por "unidad de obra" se entiende una parte elemental de la misma, que suponga una determinada actuación, utilización de mano de obra y/o maquinaria, generalmente para aplicación en obra de ciertos elementos que tendrán el carácter de materiales.

2 Estructura y consideraciones

El presente documento de Mediciones, así como el de Presupuesto, cubren el proceso de instalación del puente grúa en su totalidad, desde el acopio de materiales hasta la puesta en servicio. No obstante, no se considera la inversión inicial, los gastos de mantenimiento de la instalación, así como los recursos materiales o personales que no participan directamente en la obra.

El orden en que se estructura el presente documento sigue un criterio cronológico, conforme a los establecido en el apartado de Planificación de la Memoria. Como excepción se tiene el capítulo de Seguridad y Salud, pues se produce durante toda la obra.

3 Mediciones

A continuación, se enumeran y cuantifican las unidades de obra requeridas por el proceso productivo de una unidad de obra, desde los movimientos de tierras hasta las pruebas de funcionamiento de la grúa.

CÓD.	RESUMEN	CANTIDAD
01	**Movimientos de tierra**	
01.01	**m Corte de hormigón** Corte superficial de la solera de hormigón de la nave con máquina cortajuntas de agua y disco de diamante	**24**
01.02	**m² Demolición de pavimento** Demolición de pavimento de hormigón en masa de 10 cm de espesor con martillo compresor	**6**
01.03	**m³ Excavación de zanjas** Excavación manual en zanjas de terreno compacto, hasta una profundidad de 0,35 metros	**2,10**
02	**Cimentaciones**	
02.01	**m³ Hormigón de limpieza y nivelación, con hormigón HL-150/B/20** Formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 5 centímetros de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de excavación previamente realizada.	**0,3**
02.02	**m³ Zapata de cimentación de hormigón en masa, realizada con hormigón HM- 30/B/20/I** Formación de zapata de cimentación de hormigón en masa, realizada con hormigón HM-30/B/20/I fabricado en central y vertido desde camión. Incluye: Replanteo y trazado de las zapatas y de los pilares u otros elementos estructurales que apoyen en las mismas. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase de cimientos. Curado del hormigón.	**1,8**
03	**Estructura**	
03.01	**u Montaje placa de anclaje** Suministro y montaje de placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275 en perfil plano, de 350x350 mm y espesor 12 mm, con 4 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 400 S de 16 mm de diámetro y 50 cm de longitud total. Trabajado y montado en obra. Incluso p/p de taladro central, preparación de bordes, biselado alrededor del taladro para mejorar la unión del perno a la cara superior de la placa, soldaduras, cortes, pletinas, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación.	**6**

CÓD.	RESUMEN	CANTIDAD
03.02	**u Montaje pilar HE 240 B** Suministro y montaje de perfil de acero laminado UNE-EN 10025 S275, laminado en caliente HE 240 B mediante uniones soldadas. Trabajado y montado en obra. El pilar es de 5 metros con un peso de 416 kg. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional del pilar. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.	**6**
03.03	**u Montaje viga carrilera IPE 300** Suministro y montaje de la viga carrilera de acero laminado UNE-EN 10025 S275, en perfiles laminados en caliente. Viga IPE 300 de 7 metros y 295,5 kg Trabajado y montado en obra. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.	**4**
03.04	**u Colocación raíles** Colocación, nivelación y soldado del raíl sobre el que reposa el puente grúa. Se trata de un raíl A55 según norma DIN 536 P1:1991 de una longitud de 7 metros y un peso de 91 kg.	**4**
04	**Viga principal y testeros**	
04.01	**u Montaje testero** Nivelación y atornillado del testero TEMV125A a la placa lateral de la viga principal. Así mismo, se acopla el motorreductor al eje conductor de las ruedas de la viga testera. El material de las ruedas es SAE 4140 y su diámetro 125mm. El motorreductor es el SK 1282 - 80T1/4 de 1,1 kW y un par de 195 Nm.	**2**
04.02	**u Montaje viga principal IPE 330** Elevación del perfil laminado en caliente IPE 330, unido a las vigas testeras y colocación y nivelación sobre los raíles de las vigas carrileras. La longitud de la viga principal es de 6,5 metros y tiene un peso de 329 kg.	**1**
05	**Carro-Polipasto y aparejos**	
05.01	**u Montaje del cable, gacho y poleas** Se enrolla el cable sobre el tambor del polipasto y se fija en los extremos. A su vez se pasa por el las poleas y se ajusta la dirección del gancho: - Gancho Nº 2,5 de resistencia S. Acero forjado 34CrMo4 - Poleas de radio de garganta de 10 mm según DIN 15061 - Cable 8x19 flexible EXTRA de acero monitor con trenzado torzal regular (0,8 pulgadas y 20 metros)	**1**

CÓD.	RESUMEN	CANTIDAD
05.02	**u Montaje carro-polipasto** Instalación del carro polipasto monorraíl GHB11 sobre la viga principal con todos sus componentes insertados. - Capacidad de carga: 1000 kg - Grupo de mecanismo FEM M7 - Tambor de acero con diámetro de 0,2 m - Motorreductor de dirección SK 1282 - 80T1/4 - Motor de elevación 80T1/4 - Frenos en todos los movimientos - Limitador de carga de elevación - Guía de cable de acero - Protección IP55	**1**
06	**Garra**	
06.01	**u Montaje garra** El bloque principal se eleva mediante una carretilla elevadora y se le van ensamblando los componentes. Componentes a medida fabricados por mecanizado: deslizadera, eje, bloque principal, carcasa y brazos. Componentes comerciales: Piñón, cremallera, chaveta, anillo de seguridad, rodamientos, tuercas y tornillos.	**1**
06.02	**u Montaje servomotor y reductor** Acoplamiento del servo a la reductora y acople del conjunto al eje de la garra.	**2**
07	**Seguridad y salud**	
07.01	**u Conjunto de equipos de protección individual, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud** Conjunto de equipos de protección individual, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Incluso mantenimiento en condiciones seguras durante todo el periodo de tiempo que se requiera en la obra. Consta de cascos, guantes, gafas antipartículas, protectores auditivos, monos de trabajo, botas de seguridad, cinturón de seguridad, arnés de seguridad...	**1**
07.02	**u Conjunto de sistemas de protección colectiva, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud** Conjunto de sistemas de protección colectiva, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Incluso mantenimiento en condiciones seguras durante todo el periodo de tiempo que se realice la obra. Consta de cinta de balizamiento, botiquín, señales de seguridad, carteles de riesgo...	**1**

CÓD.	RESUMEN	CANTIDAD
08	**Instalación eléctrica**	
08.01	**m Circuito monofásico de control** Circuito realizado con tubo PVC corrugado M 25/gp5, conductores de cobre rígido de 6 mm2, aislamiento VV 750 V., en sistema monofásico (fase neutro y tierra), incluido p./p. de cajas de registro y regletas de conexión. Este circuito va destinado a los sensores y dispositivos de automatización del PG.	**45**
08.02	**m Circuito trifásico de potencia** Circuito trifásico realizado con conductores RZ1-K 3x(1x2,5) + 1x(1G25) mm2. Tres fases y un neutro. incluido p./p. de cajas de registro y regletas de conexión. Este circuito va destinado a los actuadores (motores) del PG.	**45**
08.03	**m Red de toma de tierra de estructura, con cable de cobre de 35 mm2** Red de toma de tierra de estructura, realizada con cable de cobre desnudo de 35 mm2, uniéndolo mediante soldadura aluminotérmica a la armadura de cada zapata, incluyendo parte proporcional de pica, registro de comprobación y puente de prueba.	**45**
08.04	**u Caja general protección de 80 A** Caja general protección 80. Incluido bases cortacircuitos y fusibles calibrados de 80 A. para protección de las líneas.	**1**
08.05	**m Línea general de alimentación 4(1x25) mm2 de cobre** Línea general de alimentación (LGA) en canalización entubada formada por conductor de Cu 4(1x25) mm2 con aislamiento 0,6/1 kV libre de halógenos. Instalación incluyendo conexionado.	**2**
08.06	**u Cuadro de protección electrificación elevada 9 circuitos** Cuadro protección electrificación elevada, formado por caja, de doble aislamiento de empotrar, con caja de empotrar de 2x12 elementos, perfil omega, embarrado de protección, interruptor de control de potencia, interruptor general magnetotérmico de corte omnipolar 40 A, interruptor diferencial 2x40 A 30 mA y PIAS (I+N) de 10, 16, 20 y 25 A.	**1**
09	**Automatización e instrumentación**	
09.01	**u Instalación y programación del autómata** Instalación y conexión del PLC de Omron con CPU CP1-E en el armario eléctrico. También incluye la programación realizada por el especialista.	**1**

CÓD.	RESUMEN	CANTIDAD
09.02	**u Instalación y configuración instrumentación** Incluye el montaje y puesta a punto de todos los elementos que permiten la automatización del PG: - Pulsadores - Sensores de posición de la garra - Finales de carrera - Encoders - Cámaras de visión artificial - Variadores de frecuencia	**1**
10	**Pruebas de funcionamiento**	
10.01	**u Conjunto de pruebas de servicio** Conjunto de pruebas de servicio a realizar en la instalación. En primer lugar se comprueba la resistencia del PG sin carga y después con carga. A continuación, se verifica el buen funcionamiento en modo semiautomático. Incluye: Realización de las pruebas. Redacción de informe de los resultados de las pruebas realizadas.	**1**

PRESUPUESTO

Puente grúa automatizado

803-G

Autor: Manuel Marín Uyarra

UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 Objeto

El presente documento tiene como finalidad cuantificar el precio de las unidades de obra que configuran la totalidad de la puesta en obra del puente grúa. Estas partidas o unidades de obra se refieren a cada uno de los subprocesos de construcción. El precio de las partidas se cuantificará desde diferentes enfoques, ofreciendo como conclusión el resumen de la cuantía total.

Por "unidad de obra" se entiende una parte elemental de la misma, que suponga una determinada actuación, utilización de mano de obra y/o maquinaria, generalmente para aplicación en obra de ciertos elementos que tendrán el carácter de materiales.

2 Estructura y consideraciones

El presente documento de Presupuesto, así como el de Mediciones, cubren el proceso de instalación del puente grúa en su totalidad, desde el acopio de materiales hasta la puesta en servicio. No obstante, no se considera la inversión inicial, los gastos de mantenimiento de la instalación, así como los recursos materiales o personales que no participan directamente en la obra.

El orden en que se estructura el presente documento sigue un criterio cronológico, conforme a lo establecido en el apartado de Planificación de la Memoria. Como excepción se tiene el capítulo de Seguridad y Salud, pues se produce durante toda la obra.

3 Presupuesto

A continuación, se exponen los cuadros de precios unitarios de materiales, mano de obra y maquinaria, el cuadro de precios unitarios de las unidades de obra descompuesto, el presupuesto parcial del proyecto según el estado de mediciones y, finalmente, un resumen del proyecto.

3.1 C.P.U. MATERIALES

CÓD.	RESUMEN	UD.		€/UD.	PRECIO
P01	Hormigón HL-150/B/20/I	0,300	m³	71,23	21,37
P02	Hormigón HM-30/B/I	1,800	m³	63,12	113,62
P03	Pletina de acero laminado	35,328	kg	1,34	47,34
P04	Ferralla de acero en barras corrugadas, B 500 S	10,650	kg	0,81	8,63
P05	Ferralla de acero en barras corrugadas, B 400 S	18,930	kg	0,79	14,95
P06	Perfil de acero laminado en caliente S275 HE 240 B	2.496,0	kg	0,99	2.471
P07	Perfil de acero laminado en caliente S275 IPE 300	1.182,0	kg	0,99	1.170,1
P08	Carril ASTM A55 13 euros/metro	28,000	m	13,0	364,00
P09	Cajón testero de 200x150x10 con ruedas de 125 mm	2,000	u	343,8	687,74
P10	Motor 80T1/4 con freno de 1 kW	4,000	u	185,8	743,56
P11	Reductor de ejes paralelos SK 1282	3,000	u	137,6	412,80
P12	Perfil de acero laminado en caliente S275 IPE 330	329,0	kg	0,99	325,71
P13	Polea doble con Gancho nº 2,5	2,000	u	237,0	474,00
P14	Cable de 8x19 flexible EXTRA de 0,8	20,000	m	8,95	179,00
P15	Caja reductora de acero fundido GG-20	1,000	u	112,3	112,35
P16	Bastidor del carro GHB-11	1,000	u	1.657	1.657,3
P17	Tambor de 0,2 metros de diámetro	1,000	u	111,6	111,60
P18	Deslizadera	4,000	u	40,87	163,48
P19	Piñón A1-327-20-15-2	2,000	u	7,85	15,70
P20	Cremallera A2-57-20-20-500	2,000	u	6,37	12,74
P21	Eje	2,000	u	34,80	69,60
P22	Chaveta 5X5 h9	2,000	u	0,77	1,54
P23	Anillo de seguridad DIN 471	2,000	u	1,47	2,94
P24	Rodamiento NSK 3602	4,000	u	6,98	27,92

CÓD.	RESUMEN	UD.		€/UD.	PRECIO
P25	Bloque principal	1,000	u	466,12	466,12
P26	Contrapeso	1,000	u	24,90	24,90
P27	Motor R88M-K con freno de 2 kW	2,000	u	234,9	469,92
P28	Reductor helicoidal R-02 de VARVEL de 1400 rpm	2,000	u	143,1	286,24
P29	Brazo	2,000	u	288,5	577,0
P30	Tubo PVC corrugado M 25/gp5	45,000	m	0,30	13,50
P31	Cond. rígido. 750 V 6 mm2 Cu	135,0	m	1,08	145,80
P32	Pequeño material	139,0	m	1,35	187,65
P33	Conductor de Cu trifásico	45,0	m	5,75	258,75
P34	Protector de policarbonato	45,0	m	0,80	36,00
P35	Conductor cobre desnudo 35 mm2	45,0	m	2,91	130,95
P36	Caja protectora 80A(III+N) + fusible	1,000	u	387,2	387,20
P37	C.aisl.l.halóg.RZ1-k 0,6/1kV 1x25mm2 Cu	8,000	m	3,30	26,40
P38	Tubo PVC ríg. der.ind. M 50/gp5	2,000	m	1,52	3,04
P39	Caja empotrar 2x12	1,000	u	6,19	6,19
P40	PIA ABB 2x40A, 6/10kA curva C	5,000	u	59,51	297,55
P41	Diferencial ABB 2x40A a 30mA tipo AC	5,000	u	120,1	600,70
P42	PIA ABB (I+N) 10A, 6/10kA curva C	1,000	u	36,99	36,99
P43	PIA ABB (I+N) 16A, 6/10kA curva C	3,000	u	37,74	113,22
P44	PIA ABB (I+N) 20A, 6/10kA curva C	1,000	u	39,00	39,00
P45	PIA ABB (I+N) 25A, 6/10kA curva C	3,000	u	39,66	118,98
P46	Autómata con CPU CP1E-E de Omron 30 E/S	1,000	u	537,6	537,65
		TOTAL			**13.972,86**

3.2 C.P.U. MANO DE OBRA

CÓD.	RESUMEN	UD.		€/UD.	PRECIO
O01	Peón ordinario	30,660	h	16,70	512,02
O02	Oficial 1ª estructurista, en trabajos de hormigón.	0,780	h	21,24	16,57
O03	Ayudante estructurista, en trabajos de hormigón.	0,780	h	17,70	13,81
O04	Oficial 1ª gruista	15,000	h	18,31	274,65
O05	Oficial 1ª montador de estructura metálica.	41,000	h	21,24	870,84
O06	Ayudante montador de estructura metálica.	48,000	h	17,70	849,60
O07	Oficial 1ª electricista	48,100	h	19,04	915,82
O08	Oficial 2ª electricista	39,500	h	17,81	703,50
O09	Ayudante electricista	5,000	h	17,81	89,05
O10	Especialista en programación	6,000	h	22,60	135,60
		TOTAL			**4.381,46**

3.3 C.P.U. MAQUINARIA

CÓD.	RESUMEN	UD.		€/UD.	PRECIO
M01	Máquina cortajuntas	1,200	h	46,50	55,80
M02	Martillo compresor	1,200	h	41,40	49,68
M03	Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos	1,260	h	48,42	61,01
M04	Equipo de soldadura eléctrica.	27,000	h	3,09	83,43
M05	Camión Grúa 0,75 t.	16,000	h	18,84	301,44
M06	Elevadora tijera	34,500	h	55,40	1.911,3
		TOTAL			**2.462,66**

3.4 C.P.U. UNIDADES DE OBRA TOTALES (CUADRO DE PRECIOS 1)

CÓD.	RESUMEN	PRECIO
01	**Movimientos de tierra**	
01.01	**m Corte de hormigón** Corte superficial de la solera de hormigón de la nave con máquina cortajuntas de agua y disco de diamante TRES EUROS con VEINTISIETE CÉNTIMOS	**3,27**
01.02	**m² Demolición de pavimento** Demolición de pavimento de hormigón en masa de 10 cm de espesor con martillo compresor ONCE EUROS con NOVENTA Y SIETE CÉNTIMOS	**11,97**
01.03	**m³ Excavación de zanjas** Excavación manual en zanjas de terreno compacto, hasta una profundidad de 0,35 metros CUARENTA EUROS con VEINTICUATRO CÉNTIMOS	**40,24**
02	**Cimentaciones**	
02.01	**m³ Hormigón de limpieza y nivelación, con hormigón HL-150/B/20** Formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 5 centímetros de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de excavación previamente realizada. OCHENTA Y UN EUROS con TREINTA Y NUEVE CÉNTIMOS	**81,39**
02.02	**m³ Zapata de cimentación de hormigón en masa, realizada con hormigón HM-30/B/20/I** Formación de zapata de cimentación de hormigón en masa, realizada con hormigón HM-30/B/20/I fabricado en central y vertido desde camión. Incluye: Replanteo y trazado de las zapatas y de los pilares u otros elementos estructurales que apoyen en las mismas. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase de cimientos. Curado del hormigón. OCHENTA Y DOS EUROS con SESENTA Y OCHO CÉNTIMOS	**82,68**

CÓD.	RESUMEN	PRECIO

03 Estructura

03.01 **u** **Montaje placa de anclaje** **54,96**

Suministro y montaje de placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275 en perfil plano, de 350x350 mm y espesor 12 mm, con 4 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 400 S de 16 mm de diámetro y 50 cm de longitud total. Trabajado y montado en obra. Incluso p/p de taladro central, preparación de bordes, biselado alrededor del taladro para mejorar la unión del perno a la cara superior de la placa, soldaduras, cortes, pletinas, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje.
Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación.

CINCUENTA Y CUATRO EUROS con NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS

03.02 **u** **Montaje pilar HE 240 B** **577,57**

Suministro y montaje de perfil de acero laminado UNE-EN 10025 S275, laminado en caliente HE 240 B mediante uniones soldadas. Trabajado y montado en obra. El pilar es de 5 metros con un peso de 416 kg.
Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional del pilar. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

QUINIENTOS SETENTA Y SIETE EUROS con CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS

03.03 **u** **Montaje viga carrilera IPE 300** **568,65**

Suministro y montaje de la viga carrilera de acero laminado UNE-EN 10025 S275, en perfiles laminados en caliente. Viga IPE 300 de 7 metros y 295,5 kg. Trabajado y montado en obra.
Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

QUINIENTOS SESENTA Y OCHO EUROS con SESENTA Y CINCO CÉNTIMOS

03.04 **u** **Colocación raíles** **324,84**

Colocación, nivelación y soldado del raíl sobre el que reposa el puente grúa. Se trata de un raíl A55 según norma DIN 536 P1:1991 de una longitud de 7 metros y un peso de 91 kg.

TRESCIENTOS VEINTICUATRO EUROS con OCHENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

CÓD.	RESUMEN	PRECIO

04 Viga principal y testeros

04.01 **u** **Montaje testero** **722,81**

Nivelación y atornillado del testero TEMV125A a la placa lateral de la viga principal. Así mismo, se acopla el motorreductor al eje conductor de las ruedas de la viga testera. El material de las ruedas es SAE 4140 y su diámetro 125mm. El motorreductor es el SK 1282 - 80T1/4 de 1,1 kW y un par de 195 Nm.

SETECIENTOS VEINTIDOS EUROS con OCHENTA Y UN CÉNTIMOS

04.02 **u** **Montaje viga principal IPE 330** **616,78**

Elevación del perfil laminado en caliente IPE 330, unido a las vigas testeras y colocación y nivelación sobre los raíles de las vigas carrileras. La longitud de la viga principal es de 6,5 metros y tiene un peso de 329 kg.

SEISCIENTOS DIECISEIS EUROS con SETENTA Y OCHO CÉNTIMOS

05 Carro-Polipasto y aparejos

05.01 **u** **Montaje del cable, gacho y poleas** **802,96**

Se enrolla el cable sobre el tambor del polipasto y se fija en los extremos. A su vez se pasa por el las poleas y se ajusta la dirección del gancho:
- Gancho Nº 2,5 de resistencia S. Acero forjado 34CrMo4
- Poleas de radio de garganta de 10 mm según DIN 15061
- Cable 8x19 flexible EXTRA de acero monitor con trenzado torzal regular (0,8 pulgadas y 20 metros)

OCHOCIENTOS DOS EUROS con NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS

05.02 **u** **Montaje carro-polipasto** **2.978,23**

Instalación del carro polipasto monorraíl GHB11 sobre la viga principal con todos sus componentes insertados.
- Capacidad de carga: 1000 kg
- Grupo de mecanismo FEM M7
- Tambor de acero con diámetro de 0,2 m
- Motorreductor de dirección SK 1282 - 80T1/4
- Motor de elevación 80T1/4
- Frenos en todos los movimientos
- Limitador de carga de elevación
- Guía de cable de acero
- Protección IP55

DOS MIL NOVECIENTOS SETENTA Y OCHO EUROS con VEINTITRES CÉNTIMOS

CÓD.	RESUMEN	PRECIO

06 Garra

06.01 u **Montaje garra** **1.509,09**

El bloque principal se eleva mediante una carretilla elevadora y se le van ensamblando los componentes.
Componentes a medida fabricados por mecanizado: deslizadera, eje, bloque principal, carcasa y brazos.
Componentes comerciales: piñón, cremallera, chaveta, anillo de seguridad, rodamientos, tuercas y tornillos.

MIL QUINIENTOS NUEVE EUROS con NUEVE CÉNTIMOS

06.02 u **Montaje servomotor y reductor** **407,14**

Acoplamiento del servo a la reductora y acople del conjunto al eje de la garra.

CUATROCIENTOS SIETE EUROS con CATORCE CÉNTIMOS

07 Seguridad y salud

07.01 u **Conjunto de equipos de protección individual, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad** **1.030,00**

Conjunto de equipos de protección individual, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Incluso mantenimiento en condiciones seguras durante todo el periodo de tiempo que se requiera en la obra. Consta de cascos, guantes, gafas antipartículas, protectores auditivos, monos de trabajo, botas de seguridad, cinturón de seguridad, arnés de seguridad...

MIL TREINTA EUROS

07.02 u **Conjunto de sistemas de protección colectiva, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad** **1.030,00**

Conjunto de sistemas de protección colectiva, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Incluso mantenimiento en condiciones seguras durante todo el periodo de tiempo que se realice la obra. Consta de cinta de balizamiento, botiquín, señales de seguridad, carteles de riesgo...

MIL TREINTA EUROS

CÓD.	RESUMEN	PRECIO

08 Instalación eléctrica

08.01 m Circuito monofásico de control **17,38**

Circuito realizado con tubo PVC corrugado M 25/gp5, conductores de cobre rígido de 6 mm2, aislamiento VV 750 V., en sistema monofásico (fase neutro y tierra), incluido p./p. de cajas de registro y regletas de conexión.
Este circuito va destinado a los sensores y dispositivos de automatización del PG.

DIECISIETE EUROS con TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS

08.02 m Circuito trifásico de potencia **20,48**

Circuito trifásico realizado con conductores RZ1-K 3x(1x2,5) + 1x(1G25) mm2. Tres fases y un neutro. incluido p./p. de cajas de registro y regletas de conexión.
Este circuito va destinado a los actuadores (motores) del PG.

VEINTE EUROS con CUARENTA Y OCHO CÉNTIMOS

08.03 m Red de toma de tierra de estructura, con cable de cobre de 35 mm2 **8,18**

Red de toma de tierra de estructura, realizada con cable de cobre desnudo de 35 mm2, uniéndolo mediante soldadura aluminotérmica a la armadura de cada zapata, incluyendo parte proporcional de pica, registro de comprobación y puente de prueba.

OCHO EUROS con DIECIOCHO CÉNTIMOS

08.04 u Caja general protección de 80 A **419,19**

Caja general protección 80. Incluido bases cortacircuitos y fusibles calibrados de 80 A. para protección de las líneas.

CUATROCIENTOS DIECINUEVE EUROS con DIECINUEVE CÉNTIMOS

08.05 m Línea general de alimentación 4(1x25) mm2 de cobre **35,54**

Línea general de alimentación (LGA) en canalización entubada formada por conductor de Cu 4(1x25) mm2 con aislamiento 0,6/1 kV libre de halógenos. Instalación incluyendo conexionado.

TREINTA Y CINCO EUROS con CINCUENTA Y CUATRO CÉNTIMOS

08.06 u Cuadro de protección electrificación elevada 9 circuitos **1.262,16**

Cuadro protección electrificación elevada, formado por caja, de doble aislamiento de empotrar, con caja de empotrar de 2x12 elementos, perfil omega, embarrado de protección, interruptor de control de potencia, interruptor general magnetotérmico de corte omnipolar 40 A, interruptor diferencial 2x40 A 30 mA y PIAS (I+N) de 10, 16, 20 y 25 A.

MIL DOSCIENTOS SESENTA Y DOS EUROS con DIECISEIS CÉNTIMOS

CÓD.	RESUMEN	PRECIO

09 Automatización e instrumentación

09.01 u **Instalación y programación del autómata** **693,45**

Instalación y conexión del PLC de Omron con CPU CP1-E en el armario eléctrico. También incluye la programación realizada por el especialista.

SEISCIENTOS NOVENTA Y TRES EUROS con CUARENTA Y CINCO CÉNTIMOS

09.02 u **Instalación y configuración instrumentación** **4.963,57**

Incluye el montaje y puesta a punto de todos los elementos que permiten la automatización del PG:
- Pulsadores
- Sensores de posición de la garra
- Finales de carrera
- Encoders
- Cámaras de visión artificial
- Variadores de frecuencia

CUATRO MIL NOVECIENTOS SESENTA Y TRES EUROS con CINCUENTA Y SIETE CÉNTIMOS

10 Pruebas de funcionamiento

10.01 u **Conjunto de pruebas de servicio** **126,96**

Conjunto de pruebas de servicio a realizar en la instalación. En primer lugar se compruebe la resistencia del PG sin carga y después con carga. A continuación, se verifica el buen funcionamiento en modo semiautomático.
Incluye: Realización de las pruebas. Redacción de informe de los resultados de las pruebas realizadas.

CIENTO VEINTISEIS EUROS con NOVENTA Y SEIS CÉNTIMOS

3.5 UNIDADES DE OBRA DESCOMPUESTOS (CUADRO DE PRECIOS 2)

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
01	**Movimientos de tierra**				
01.01	**m Corte de hormigón**				
	Corte superficial de la solera de hormigón de la nave con máquina cortajuntas de agua y disco de diamante				
O01	Peón ordinario	0,05 h	16,70	0,84	
M01	Máquina cortajuntas	0,05 h	46,50	2,33	
			Suma de la partida		3,17
			Costes indirectos 3%		0,17
			TOTAL PARTIDA		**3,27**
01.02	**m² Demolición de pavimento**				
	Demolición de pavimento de hormigón en masa de 10 cm de espesor con martillo compresor				
O01	Peón ordinario	0,20 h	16,70	3,24	
M02	Martillo compresor	0,20 h	41,40	8,28	
			Suma de la partida		11,62
			Costes indirectos 3%		0,35
			TOTAL PARTIDA		**11,97**
01.03	**m³ Excavación de zanjas**				
	Excavación manual en zanjas de terreno compacto, hasta una profundidad de 0,35 metros				
O01	Peón ordinario	0,60 h	16,70	10,2	
M03	Martillo compresor	0,60 h	48,42	29,05	
			Suma de la partida		39,07
			Costes indirectos 3%		1,17
			TOTAL PARTIDA		**40,24**

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE

02 Cimentaciones

02.01 **m³ Hormigón de limpieza y nivelación, con hormigón HL-150/B/20**

Formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 5 centímetros de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de excavación previamente realizada.

O02	Oficial 1ª estructurista	0,20 h	21,24	4,25
O03	Ayudante estructurista	0,20 h	17,70	3,54
P01	HL-150/B/20/l, de 5 cm	1,00 m³	71,23	71,23

Suma de la partida.....79,02
Costes indirectos 3%.....2,37

TOTAL PARTIDA.....81,39

02.02 **m³ Zapata de cimentación de hormigón en masa, realizada con hormigón HM-30/B/20/I**

Formación de zapata de cimentación de hormigón en masa, realizada con hormigón HM-30/B/20/I fabricado en central y vertido desde camión.
Incluye: Replanteo y trazado de las zapatas y de los pilares u otros elementos estructurales que apoyen en las mismas. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase de cimientos. Curado del hormigón.

O02	Oficial 1ª estructurista	0,40 h	21,24	8,49
O03	Ayudante estructurista	0,40 h	17,70	7,08
P02	HM-30/B/B/l, de 5 cm	1,00 m³	63,12	63,12
%0200	Costes directos	0,787 %	2	1,57

Suma de la partida.....80,27
Costes indirectos 3%.....2,41

TOTAL PARTIDA.....82,68

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE

03 Estructura

03.01 u Montaje placa de anclaje

Suministro y montaje de placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275 en perfil plano, de 350x350 mm y espesor 12 mm, con 4 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 400 S de 16 mm de diámetro y 50 cm de longitud total. Trabajado y montado en obra. Incluso p/p de taladro central, preparación de bordes, biselado alrededor del taladro para mejorar la unión del perno a la cara superior de la placa, soldaduras, cortes, pletinas, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje.
Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación.

P03	Pletina de acero laminado	5,888 kg	1,34	7,89
P04	Ferralla B 500 S	1,775 kg	0,81	1,44
P05	Ferralla B 400 S	3,155 kg	0,79	2,49
M04	Equipo de soldadura	0,50 h	3,09	1,55
O05	Oficial 1ª montador de estr.	1,00 h	21,24	21,24
O06	Ayudante montador de estr.	1,00 h	17,70	17,70
%0200	Costes directos	0,523 %	2,00	1,05

Suma de la partida.....53,36
Costes indirectos 3%.....1,60

TOTAL PARTIDA.....54,96

03.02 u Montaje pilar HE 240 B

Suministro y montaje de perfil de acero laminado UNE-EN 10025 S275, laminado en caliente HE 240 B mediante uniones soldadas. Trabajado y montado en obra. El pilar es de 5 metros con un peso de 416 kg.
Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional del pilar. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

O04	Oficial 1ª gruista.	1,00 h	18,31	18,31
O01	Peón ordinario	1,00 h	16,70	16,70
O06	Ayudante montador de estr.	2,00 h	17,70	35,40
O05	Oficial 1ª montador de estr.	2,00 h	21,24	42,48
M05	Camión grúa	1,00 h	18,84	18,84
M04	Equipo de soldadura	2,00 h	3,09	6,18
P06	Perfil HE 240 B S275	416 kg	0,99	411,84
%0200	Costes directos	5,498 %	2,00	11,00

Suma de la partida.....560,75
Costes indirectos 3%.....16,82

TOTAL PARTIDA.....577,57

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE

03.03 **u** **Montaje viga carrilera IPE 300**

Suministro y montaje de la viga carrilera de acero laminado UNE-EN 10025 S275, en perfiles laminados en caliente. Viga IPE 300 de 7 metros y 295,5 kg Trabajado y montado en obra. Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

O04	Oficial 1ª gruista.	1,00 h	18,31	18,31
O01	Peón ordinario	1,00 h	16,70	16,70
O05	Oficial 1ª montador de estr.	2,00 h	21,24	42,48
O06	Ayudante montador de estr.	2,00 h	17,70	35,40
M05	Camión grúa	1,00 h	18,84	18,84
M04	Equipo de soldadura	2,00 h	3,09	6,18
M06	Elevadora tijera	2,00 h	55,40	110,80
P07	Perfil IPE 300 S275	295,5 kg	0,99	292,55
%0200	Costes directos	5,413 %	2,00	10,83

Suma de la partida.....552,09
Costes indirectos 3%.....16,56

TOTAL PARTIDA.....568,65

03.04 **u** **Colocación raíles**

Colocación, nivelación y soldado del raíl sobre el que reposa el puente grúa. Se trata de un raíl A55 según norma DIN 536 P1:1991 de una longitud de 7 metros y un peso de 91 kg.

O05	Oficial 1ª montador de estr.	1,00 h	21,24	21,24
O04	Oficial 1ª gruista.	1,00 h	18,31	18,31
O01	Peón ordinario	1,00 h	16,70	16,70
O06	Ayudante montador de estr.	2,00 h	17,70	35,40
M05	Camión grúa	1,00 h	18,84	18,84
M04	Equipo de soldadura	1,00 h	3,09	3,09
M06	Elevadora tijera	2,00 h	55,40	110,80
P08	Carril ASTM A55	7,00 m	13,00	91,00

Suma de la partida.....315,38
Costes indirectos 3%.....9,46

TOTAL PARTIDA.....324,84

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE

04 Viga principal y testeros

04.01 u Montaje testero

Nivelación y atornillado del testero TEMV125A a la placa lateral de la viga principal. Así mismo, se acopla el motorreductor al eje conductor de las ruedas de la viga testera. El material de las ruedas es SAE 4140 y su diámetro 125mm. El motorreductor es el SK 1282 - 80T1/4 de 1,1 kW y un par de 195 Nm.

O01	Peón ordinario	1,00 h	16,70	16,70
O06	Ayudante montador de estr.	1,00 h	17,70	17,70
P09	Cajón testero	1,00 h	343,87	343,87
P10	Motor con freno de 1 kW	1,00 u	185,89	185,89
P11	Reductor ejes paralelos	1,00 u	137,60	137,60

Suma de la partida.....701,76
Costes indirectos 3%.....21,05

TOTAL PARTIDA.....722,81

04.02 u Montaje viga principal IPE 330

Elevación del perfil laminado en caliente IPE 330, unido a las vigas testeras y colocación y nivelación sobre los raíles de las vigas carrileras. La longitud de la viga principal es de 6,5 metros y tiene un peso de 329 kg.

O01	Peón ordinario	1,00 h	16,70	16,70
O04	Oficial 1ª gruista.	1,00 h	18,31	18,31
O05	Oficial 1ª montador de estr.	2,00 h	21,24	42,48
O06	Ayudante montador de estr.	2,00 h	17,70	35,40
M05	Camión grúa	2,00 h	18,84	37,68
M06	Elevadora tijera	2,00 h	55,40	110,80
P12	Perfil IPE 330 S275	329,0 kg	0,99	325,71
%0200	Costes directos	5,871 %	2,00	11,74

Suma de la partida.....598,82
Costes indirectos 3%.....17,96

TOTAL PARTIDA.....616,78

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE

05 Carro-Polipasto y aparejos

05.01 u Montaje del cable, gacho y poleas

Se enrolla el cable sobre el tambor del polipasto y se fija en los extremos. A su vez se pasa por el las poleas y se ajusta la dirección del gancho:
- Gancho Nº 2,5 de resistencia S. Acero forjado 34CrMo4
- Poleas de radio de garganta de 10 mm según DIN 15061
- Cable 8x19 flexible EXTRA de acero monitor con trenzado torzal regular (0,8 pulgadas y 20 metros)

O01	Peón ordinario	2,00 h	16,70	33,40
O06	Ayudante montador de estr.	2,00 h	17,70	35,40
O05	Oficial 1ª montador de estr.	2,00 h	21,24	42,48
P13	Polea doble con gancho	2,00 u	237,0	474,00
P14	Cable 8x19 flexible EXTRA	20,0 m	8,95	179,00
%0200	Costes directos	7,643 %	2,00	15,29

Suma de la partida.....779,57
Costes indirectos 3%.....23,39

TOTAL PARTIDA.....802,96

05.02 u Montaje carro-polipasto

Instalación del carro polipasto monorraíl GHB11 sobre la viga principal con todos sus componentes insertados.
- Capacidad de carga: 1000 kg
- Grupo de mecanismo FEM M7
- Tambor de acero con diámetro de 0,2 m
- Motorreductor de dirección SK 1282 - 80T1/4
- Motor de elevación 80T1/4
- Frenos en todos los movimientos
- Limitador de carga de elevación
- Guía de cable de acero
- Protección IP55

P10	Motor con freno de 1 kW	2,00 u	185,89	371,78
P15	Caja reductora GG-20	1,00 u	112,35	112,35
P16	Bastidor carro GHB-11	1,00 u	1657,30	1657,30
P17	Tambor 0,2 m de diámetro	1,00 u	111,60	111,60
P11	Reductor ejes paralelos	1,00 u	137,60	137,60
O01	Peón ordinario	4,00 h	16,70	66,80
O05	Oficial 1ª montador de estr.	4,00 h	21,24	84,96
O06	Ayudante montador de estr.	4,00 h	17,70	70,80
M06	Elevadora tijera	4,00 h	55,40	221,60
%0200	Costes directos	28,348 %	2,00	56,70

Suma de la partida.....2891,49
Costes indirectos 3%.....86,74

TOTAL PARTIDA.....2978,23

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE

06 Garra

06.01 u Montaje garra

El bloque principal se eleva mediante una carretilla elevadora y se le van ensamblando los componentes.
Componentes a medida fabricados por mecanizado: deslizadera, eje, bloque principal, carcasa y brazos.
Componentes comerciales: piñón, cremallera, chaveta, anillo de seguridad, rodamientos, tuercas y tornillos.

O01	Peón ordinario	3,00 h	16,70	50,10
O06	Ayudante montador de estr.	3,00 h	17,70	53,10
P18	Deslizadera	4,00 u	40,87	163,48
P19	Piñón A1-327-20-15-2	2,00 u	7,85	15,70
P20	Cremallera A2-57-20-20-500	2,00 u	6,37	12,74
P21	Eje	2,00 u	34,80	69,60
P22	Chaveta 5x5 h9	2,00 u	0,77	1,54
P23	Anillo de seguridad DIN 471	2,00 u	1,47	2,94
P24	Rodamiento NSK 3602	4,00 u	6,98	27,92
P25	Bloque principal	1,00 u	466,12	466,12
P26	Contrapeso	1,00 u	24,90	24,90
P29	Brazo	2,00 u	288,50	577,00

Suma de la partida.....1465,14
Costes indirectos 3%.....43,95

TOTAL PARTIDA.....1509,09

06.02 u Montaje servomotor y reductor

Acoplamiento del servo a la reductora y acople del conjunto al eje de la garra.

P27	Servomotor con freno 2 kW	1,00 u	234,96	234,96
P28	Reductor helicoidal	1,00 u	143,12	143,12
O01	Peón ordinario	0,50 h	16,70	8,35
O06	Ayudante montador de estr.	0,50 h	17,70	8,85

Suma de la partida.....395,28
Costes indirectos 3%.....11,85

TOTAL PARTIDA.....407,14

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE

07 Seguridad y salud

07.01 u Conjunto de equipos de protección individual, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad

Conjunto de equipos de protección individual, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Incluso mantenimiento en condiciones seguras durante todo el periodo de tiempo que se requiera en la obra. Consta de cascos, guantes, gafas antipartículas, protectores auditivos, monos de trabajo, botas de seguridad, cinturón de seguridad, arnés de seguridad...

Suma de la partida.....1000,00
Costes indirectos 3%.....30,00

TOTAL PARTIDA.....1030,00

07.02 u Conjunto de sistemas de protección colectiva, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad

Conjunto de sistemas de protección colectiva, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Incluso mantenimiento en condiciones seguras durante todo el periodo de tiempo que se realice la obra. Consta de cinta de balizamiento, botiquín, señales de seguridad, carteles de riesgo...

Suma de la partida.....1000,00
Costes indirectos 3%.....30,00

TOTAL PARTIDA.....1030,00

08 Instalación eléctrica

08.01 m Circuito monofásico de control

Circuito realizado con tubo PVC corrugado M 25/gp5, conductores de cobre rígido de 6 mm2, aislamiento VV 750 V., en sistema monofásico (fase neutro y tierra), incluido p./p. de cajas de registro y regletas de conexión. Este circuito va destinado a los sensores y dispositivos de automatización del PG.

O07	Oficial 1ª electricista	0,250 h	19,94	4,76
O08	Oficial 2ª electricista	0,250 h	17,81	4,45
P30	Tubo PVC corrugado	1,00 m	0,30	0,30
P31	Conductor rígido 6 mm2	3,00 m	1,08	3,24
P32	Pequeño material	1,00 m	1,35	1,35
M06	Elevadora tijera	0,050 h	55,40	2,77

Suma de la partida.....16,87
Costes indirectos 3%.....0,51

TOTAL PARTIDA.....17,38

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE

08.02 m Circuito trifásico de potencia

Circuito trifásico realizado con conductores RZ1-K 3x(1x2,5) + 1x(1G25) mm2. Tres fases y un neutro. incluido p./p. de cajas de registro y regletas de conexión.
Este circuito va destinado a los actuadores (motores) del PG.

O07	Oficial 1ª electricista	0,250 h	19,94	4,76
O08	Oficial 2ª electricista	0,250 h	17,81	4,45
P32	Pequeño material	1,00 m	1,35	1,35
P33	Conductor Cu trifásico	1,00 m	5,75	5,75
P34	Protector de policarbonato	1,00 m	0,80	0,80
M06	Elevadora tijera	0,050 h	55,40	2,77

Suma de la partida.....19,88
Costes indirectos 3%.....0,60

TOTAL PARTIDA.....20,48

08.03 m Red de toma de tierra de estructura, con cable de cobre de 35 mm2

Red de toma de tierra de estructura, realizada con cable de cobre desnudo de 35 mm2, uniéndolo mediante soldadura aluminotérmica a la armadura de cada zapata, incluyendo parte proporcional de pica, registro de comprobación y puente de prueba.

O07	Oficial 1ª electricista	0,100 h	19,94	1,90
O09	Ayudante electricista	0,100 h	17,81	1,78
P35	Conductor de cobre 35 mm2	1,000 m	2,91	2,91
P32	Pequeño material	1,000 m	1,35	1,35

Suma de la partida.....7,94
Costes indirectos 3%.....0,24

TOTAL PARTIDA.....8,18

08.04 u Caja general protección de 80 A

Caja general protección 80. Incluido bases cortacircuitos y fusibles calibrados de 80 A. para protección de las líneas.

O07	Oficial 1ª electricista	0,500 h	19,94	9,52
O09	Ayudante electricista	0,500 h	17,81	8,91
P35	Caja de protección	1,000 u	387,20	387,20
P32	Pequeño material	1,000 m	1,35	1,35

Suma de la partida.....406,98
Costes indirectos 3%.....12,21

TOTAL PARTIDA.....8,18

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
08.05	**m Línea general de alimentación 4(1x25) mm2 de cobre**				
	Línea general de alimentación (LGA) en canalización entubada formada por conductor de Cu 4(1x25) mm2 con aislamiento 0,6/1 kV libre de halógenos. Instalación incluyendo conexionado.				
O07	Oficial 1ª electricista	0,500 h	19,94	9,52	
O08	Oficial 2ª electricista	0,500 h	17,81	8,91	
P37	C.aisl.halóg.RZ1-k	4,000 m	3,30	13,20	
P38	Tubo PVC rígido	1,000 m	1,52	1,52	
P32	Pequeño material	1,000 m	1,35	1,35	
			Suma de la partida		34,50
			Costes indirectos 3%		1,04
			TOTAL PARTIDA		**35,54**
08.06	**u Cuadro de protección electrificación elevada 9 circuitos**				
	Cuadro protección electrificación elevada, formado por caja, de doble aislamiento de empotrar, con caja de empotrar de 2x12 elementos, perfil omega, embarrado de protección, interruptor de control de potencia, interruptor general magnetotérmico de corte omnipolar 40 A, interruptor diferencial 2x40 A 30 mA y PIAS (I+N) de 10, 16, 20 y 25 A.				
O07	Oficial 1ª electricista	0,600 h	19,94	11,42	
P39	Caja empotrar 2x12	1,000 u	6,19	6,19	
P40	PIA ABB 2x40A, 6/10kA	5,000 u	59,51	297,55	
P41	Diferencial ABB 2x40A a 30mA	5,000 u	120,14	600,50	
P42	PIA ABB (I+N) 10A, 6/10kA	1,000 u	36,99	36,99	
P43	PIA ABB (I+N) 16A, 6/10kA	3,000 u	37,74	113,22	
P44	PIA ABB (I+N) 20A, 6/10kA	1,000 u	39,00	39,00	
P45	PIA ABB (I+N) 25A, 6/10kA	3,000 u	39,66	118,98	
P32	Pequeño material	1,000 u	1,35	1,35	
			Suma de la partida		1225,40
			Costes indirectos 3%		36,76
			TOTAL PARTIDA		**1262,16**

09 Automatización e instrumentación

09.01	**u Instalación y programación del autómata**				
	Instalación y conexión del PLC de Omron con CPU CP1-E en el armario eléctrico. También incluye la programación realizada por el especialista.				
O10	Especialista en programación	6,000 h	22,60	135,60	
P46	Autómata de Omron	1,000 u	537,65	537,65	
			Suma de la partida		673,25
			Costes indirectos 3%		20,20
			TOTAL PARTIDA		**693,45**

CÓD.	RESUMEN	UD.	PRECIO	SUBTOTAL	IMPORTE
09.02	**u Instalación y configuración instrumentación**				
	Incluye el montaje y puesta a punto de todos los elementos que permiten la automatización del PG: - Pulsadores - Sensores de posición de la garra - Finales de carrera - Encoders - Cámaras de visión artificial - Variadores de frecuencia				
O07	Oficial 1ª electricista	16,0 h	19,94	304,64	
O08	Oficial 2ª electricista	16,0 h	17,81	384,96	
M06	Elevadora tijera	8,00 h	55,40	443,20	
P47	Variador De frecuencia	4,00 u	127,50	510,00	
P48	Cámara de VA	4,00 u	387,17	1548,68	
P49	Codificador absoluto	3,00 u	357,14	1071,42	
P50	Interruptor final de carrera	6,00 u	41,65	249,90	
P51	Seta de emergencia	4,00 u	45,00	180,00	
P52	Pulsador	4,00 u	13,00	52,00	
P53	Interruptor selector	1,00 u	11,40	11,40	
P54	Sensores de posición	4,00 u	40,70	162,80	
			Suma de la partida		4819,00
			Costes indirectos 3%		144,77
			TOTAL PARTIDA		**4963,57**

10 Pruebas de funcionamiento

10.01	**u Conjunto de pruebas de servicio**				
	Conjunto de pruebas de servicio a realizar en la instalación. En primer lugar se compruebe la resistencia del PG sin carga y después con carga. A continuación, se verifica el buen funcionamiento en modo semiautomático. Incluye: Realización de las pruebas. Redacción de informe de los resultados de las pruebas realizadas.				
O07	Oficial 1ª electricista	3,000 h	19,04	57,12	
O05	Oficial 1ª montador de estr.	3,00 h	21,24	63,72	
%0200	Costes directos	1,208 %	2,00	2,42	
			Suma de la partida		123,26
			Costes indirectos 3%		3,70
			TOTAL PARTIDA		**126,09**

3.6 PRESUPUESTO PARCIAL

CÓD.	RESUMEN	UD.	€/UD	PRECIO	IMPORTE
01	**Movimientos de tierra**				
01.01	**m Corte de hormigón**				
	Corte superficial de la solera de hormigón de la nave con máquina cortajuntas de agua y disco de diamante				
		24,00	3,27	78,48	
01.02	**m² Demolición de pavimento**				
	Demolición de pavimento de hormigón en masa de 10 cm de espesor con martillo compresor				
		6,00	11,97	71,82	
01.03	**m³ Excavación de zanjas**				
	Excavación manual en zanjas de terreno compacto, hasta una profundidad de 0,35 metros				
		2,10	40,24	84,50	
				TOTAL 01	**234,80**
02	**Cimentaciones**				
02.01	**m³ Hormigón de limpieza y nivelación, con hormigón HL-150/B/20**				
	Formación de capa de hormigón de limpieza y nivelado de fondos de cimentación, de 5 centímetros de espesor, de hormigón HL-150/B/20, fabricado en central y vertido desde camión, en el fondo de excavación previamente realizada.				
		0,30	81,39	24,42	
02.02	**m³ Zapata de cimentación de hormigón en masa, realizada con hormigón HM-30/B/20/I**				
	Formación de zapata de cimentación de hormigón en masa, realizada con hormigón HM-30/B/20/I fabricado en central y vertido desde camión. . Incluye: Replanteo y trazado de las zapatas y de los pilares u otros elementos estructurales que apoyen en las mismas. Vertido y compactación del hormigón. Coronación y enrase de cimientos. Curado del hormigón.				
		1,80	82,68	148,82	
				TOTAL 02	**173,24**

CÓD.	RESUMEN	UD.	€/UD	PRECIO	IMPORTE

03 Estructura

03.01 u Montaje placa de anclaje

Suministro y montaje de placa de anclaje de acero UNE-EN 10025 S275 en perfil plano, de 350x350 mm y espesor 12 mm, con 4 pernos soldados, de acero corrugado UNE-EN 10080 B 400 S de 16 mm de diámetro y 50 cm de longitud total. Trabajado y montado en obra. Incluso p/p de taladro central, preparación de bordes, biselado alrededor del taladro para mejorar la unión del perno a la cara superior de la placa, soldaduras, cortes, pletinas, piezas especiales, despuntes y reparación en obra de cuantos desperfectos se originen por razones de transporte, manipulación o montaje.
Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la placa. Aplomado y nivelación.

6,00	54,96	329,76	

03.02 u Montaje pilar HE 240 B

Suministro y montaje de perfil de acero laminado UNE-EN 10025 S275, laminado en caliente HE 240 B mediante uniones soldadas. Trabajado y montado en obra. El pilar es de 5 metros con un peso de 416 kg.
Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional del pilar. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

6,00	577,57	3.465,42	

03.03 u Montaje viga carrilera IPE 300

Suministro y montaje de la viga carrilera de acero laminado UNE-EN 10025 S275, en perfiles laminados en caliente. Viga IPE 300 de 7 metros y 295,5 kg Trabajado y montado en obra.
Incluye: Limpieza y preparación del plano de apoyo. Replanteo y marcado de los ejes. Colocación y fijación provisional de la viga. Aplomado y nivelación. Ejecución de las uniones. Reparación de defectos superficiales.

4,00	568,65	2.274,60	

03.04 u Colocación raíles

Colocación, nivelación y soldado del raíl sobre el que reposa el puente grúa. Se trata de un raíl A55 según norma DIN 536 P1:1991 de una longitud de 7 metros y un peso de 91 kg.

4,00	324,84	1.299,36	

TOTAL 03 7.369,1

CÓD.	RESUMEN	UD.	€/UD	PRECIO	IMPORTE

04 Viga principal y testeros

04.01 u Montaje testero

Nivelación y atornillado del testero TEMV125A a la placa lateral de la viga principal. Así mismo, se acopla el motorreductor al eje conductor de las ruedas de la viga testera. El material de las ruedas es SAE 4140 y su diámetro 125mm. El motorreductor es el SK 1282 - 80T1/4 de 1,1 kW y un par de 195 Nm.

2,00	722,81	1.445,62	

04.02 u Montaje viga principal IPE 330

Elevación del perfil laminado en caliente IPE 330, unido a las vigas testeras y colocación y nivelación sobre los raíles de las vigas carrileras. La longitud de la viga principal es de 6,5 metros y tiene un peso de 329 kg.

1,00	616,78	616,78	

TOTAL 04 2.062,4

05 Carro-Polipasto y aparejos

05.01 u Montaje del cable, gacho y poleas

Se enrolla el cable sobre el tambor del polipasto y se fija en los extremos. A su vez se pasa por el las poleas y se ajusta la dirección del gancho:
- Gancho Nº 2,5 de resistencia S. Acero forjado 34CrMo4
- Poleas de radio de garganta de 10 mm según DIN 15061
- Cable 8x19 flexible EXTRA de acero monitor con trenzado torzal regular (0,8 pulgadas y 20 metros)

1,00	802,96	802,96	

05.02 u Montaje carro-polipasto

Instalación del carro polipasto monorraíl GHB11 sobre la viga principal con todos sus componentes insertados.
- Capacidad de carga: 1000 kg
- Grupo de mecanismo FEM M7
- Tambor de acero con diámetro de 0,2 m
- Motorreductor de dirección SK 1282 - 80T1/4
- Motor de elevación 80T1/4
- Frenos en todos los movimientos
- Limitador de carga de elevación
- Guía de cable de acero
- Protección IP55

1,00	2.978,23	2.978,23	

TOTAL 05 3.781,2

CÓD.	RESUMEN	UD.	€/UD	PRECIO	IMPORTE
06	**Garra**				
06.01	**u** **Montaje garra** El bloque principal se eleva mediante una carretilla elevadora y se le van ensamblando los componentes. Componentes a medida fabricados por mecanizado: deslizadera, eje, bloque principal, carcasa y brazos. Componentes comerciales: Piñón, cremallera, chaveta, anillo de seguridad, rodamientos, tuercas y tornillos.	1,00	1.509,09	1.509,09	
06.02	**u** **Montaje servomotor y reductor** Acoplamiento del servo a la reductora y acople del conjunto al eje de la garra.	2,00	407,14	814,28	
				TOTAL 06	**2.323,4**
07	**Seguridad y salud**				
07.01	**u** **Conjunto de equipos de protección individual, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad** Conjunto de equipos de protección individual, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Incluso mantenimiento en condiciones seguras durante todo el periodo de tiempo que se requiera en la obra. Consta de cascos, guantes, gafas antipartículas, protectores auditivos, monos de trabajo, botas de seguridad, cinturón de seguridad, arnés de seguridad...	1,00	1.030,00	1.030,00	
07.02	**u** **Conjunto de sistemas de protección colectiva, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad** Conjunto de sistemas de protección colectiva, necesarios para el cumplimiento de la normativa vigente en materia de Seguridad y Salud en el Trabajo. Incluso mantenimiento en condiciones seguras durante todo el periodo de tiempo que se realice la obra. Consta de cinta de balizamiento, botiquín, señales de seguridad, carteles de riesgo...	1,00	1.030,00	1.030,00	
				TOTAL 07	**2.060,0**

CÓD.	RESUMEN	UD.	€/UD	PRECIO	IMPORTE

08 Instalación eléctrica

08.01 m Circuito monofásico de control

Circuito realizado con tubo PVC corrugado M 25/gp5, conductores de cobre rígido de 6 mm2, aislamiento VV 750 V., en sistema monofásico (fase neutro y tierra), incluido p./p. de cajas de registro y regletas de conexión. Este circuito va destinado a los sensores y dispositivos de automatización del PG.

45,00	17,38	782,10	

08.02 m Circuito trifásico de potencia

Circuito trifásico realizado con conductores RZ1-K 3x(1x2,5) + 1x(1G25) mm2. Tres fases y un neutro. incluido p./p. de cajas de registro y regletas de conexión. Este circuito va destinado a los actuadores (motores) del PG.

45,00	20,48	921,60	

08.03 m Red de toma de tierra de estructura, con cable de cobre de 35 mm2

Red de toma de tierra de estructura, realizada con cable de cobre desnudo de 35 mm2, uniéndolo mediante soldadura aluminotérmica a la armadura de cada zapata, incluyendo parte proporcional de pica, registro de comprobación y puente de prueba.

45,00	8,18	368,10	

08.04 u Caja general protección de 80 A

Caja general protección 80. Incluido bases cortacircuitos y fusibles calibrados de 80 A. para protección de las líneas.

1,00	419,19	419,19	

08.05 m Línea general de alimentación 4(1x25) mm2 de cobre

Línea general de alimentación (LGA) en canalización entubada formada por conductor de Cu 4(1x25) mm2 con aislamiento 0,6/1 kV libre de halógenos. Instalación incluyendo conexionado.

2,00	35,54	71,08	

08.06 u Cuadro de protección electrificación elevada 9 circuitos

Cuadro protección electrificación elevada, formado por caja, de doble aislamiento de empotrar, con caja de empotrar de 2x12 elementos, perfil omega, embarrado de protección, interruptor de control de potencia, interruptor general magnetotérmico de corte omnipolar 40 A, interruptor diferencial 2x40 A 30 mA y PIAS (I+N) de 10, 16, 20 y 25 A.

1,00	1.262,16	1.262,16	

TOTAL 08 3.824,2

CÓD.	RESUMEN	UD.	€/UD	PRECIO	IMPORTE
09	**Automatización e instrumentación**				
09.01	**u** **Instalación y programación del autómata**				
	Instalación y conexión del PLC de Omron con CPU CP1-E en el armario eléctrico. También incluye la programación realizada por el especialista.				
		1,00	693,45	693,45	
09.02	**u** **Instalación y configuración instrumentación**				
	Incluye el montaje y puesta a punto de todos los elementos que permiten la automatización del PG: - Pulsadores - Sensores de posición de la garra - Finales de carrera - Encoders - Cámaras de visión artificial - Variadores de frecuencia				
		1,00	4.963,57	4.963,57	
				TOTAL 09	**5.657,0**
10	**Pruebas de funcionamiento**				
10.01	**u** **Conjunto de pruebas de servicio**				
	Conjunto de pruebas de servicio a realizar en la instalación. En primer lugar se comprueba la resistencia del PG sin carga y después con carga. A continuación, se verifica el buen funcionamiento en modo semiautomático. Incluye: Realización de las pruebas. Redacción de informe de los resultados de las pruebas realizadas.				
		1,00	126,96	126,96	
				TOTAL 10	**126,96**
				TOTAL	**27.612,75**

3.7 RESUMEN DE PRESUPUESTO

CAPÍTULO	RESUMEN	IMPORTE
01	Movimientos de tierra	234,80
02	Cimentaciones	173,24
03	Estructura	7.369,14
04	Viga principal y testeros	2.062,40
05	Carro-Polipasto y aparejos	3.781,19
06	Garra	2.323,37
07	Seguridad y salud	2.060,00
08	Instalación eléctrica	3.824,23
09	Automatización e instrumentación	5.657,02
10	Pruebas de funcionamiento	126,96
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL	**27.612,35**
	13,00 % Gastos generales	3.589,61
	Suma	3.589,61
	21% IVA	6.552,41
	PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN	**37.754,37**

Asciende el presupuesto de ejecución a la expresada cantidad de TREINTA Y SIETE MIL SETECIENTOS CINCUENTA Y CUATRO EUROS con TREINTA Y SIETE CÉNTIMOS, a 6 de julio de 2018.